

USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN UN SISTEMA DE VAPOR
DE UNA INDUSTRIA PAPELERA

ANDRÉS JULIÁN JARAMILLO ORTIZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2010

USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN UN SISTEMA DE VAPOR
DE UNA INDUSTRIA PAPELERA

ANDRÉS JULIÁN JARAMILLO ORTIZ

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Asesor:

Juan David Cano López

Ingeniero Mecánico

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2010

DEDICATORIA

El presente proyecto de grado se lo dedico a mi padre, por el apoyo que me dio durante toda la carrera y por guiarme siempre por el camino adecuado. A mi familia, mi madre y mi hermana, por entender y apoyar mis pasos para alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

A la industria papelera estudiada, por su apoyo y por permitir la realización del proyecto.

Al ingeniero Juan David Cano López, asesor del proyecto.

A la universidad EAFIT, los profesores y jurados del proyecto, por brindar todo el conocimiento necesario para la correcta realización del proyecto.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.2.1. Objetivo 1	16
1.2.2. Objetivo 2	16
1.2.3. Objetivo 3	16
1.2.4. Objetivo 4	17
1.2.5. Objetivo 5	17
2. ESTADO DEL ARTE	18
2.1. COMPONENTES BÁSICOS	19
2.1.1. Sistema de generación.....	20
2.1.1.1. Calderas acuotubulares	20
2.1.1.2. Calderas pirotubulares	21
2.1.1.3. Agua en calderas	21
2.1.2. Distribución de vapor y recuperación de condensados	23
2.1.2.1. Red de tubería.....	23
2.1.2.2. Trampas o purgadores de vapor	25
2.1.3. Consumidores del vapor	31
2.1.3.1. Aplicaciones	33
3. IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA.....	36
3.1. SISTEMA DE GENERACIÓN.....	38

3.1.1.	Caldera acuotubular	39
3.1.1.1.	Componentes caldera acuotubular	40
3.1.1.2.	Principio de funcionamiento	42
3.1.1.3.	Parámetros de operación de la caldera acuotubular	43
3.1.1.4.	Diagrama del equipo	44
3.1.1.5.	Procedimiento de encendido	45
3.1.2.	Caldera pirotubular	46
3.1.2.1.	Componentes caldera pirotubular	47
3.1.2.2.	Principio de funcionamiento	48
3.1.2.3.	Procedimiento de encendido	49
3.2.	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	50
3.2.1.	Tanques separadores de condensado	51
3.2.2.	Tanque distribuidor de vapor	52
3.2.3.	Tanque principal de condensado	53
3.2.4.	Trampas de vapor en la industria papelera estudiada.....	54
3.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS CONSUMIDORES DE VAPOR.....	55
3.3.1.	Vapor directo	55
3.3.2.	Vapor indirecto	56
3.3.3.	Equipos consumidores de vapor en la industria papelera.....	57
4.	IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE AHORRO ENERGÉTICO EN EL SISTEMA DE VAPOR.....	58
4.1.	FUGAS	58
4.2.	AISLAMIENTOS TÉRMICOS	61
4.2.1.	Lana mineral de roca.....	62
4.2.2.	Fibra de vidrio.....	65

4.2.3.	Otros	67
4.3.	RECUPERACIÓN DE CONDENSADO	69
5.	CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO EN UN SISTEMA DE VAPOR.....	72
5.1.	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS	72
5.1.1.	Eficiencia de las calderas en la industria papelera estudiada	73
5.2.	CÁLCULO DE LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO.....	74
5.2.1.	Total ahorrado en la recuperación de condensado en la industria papelera estudiada.....	77
5.3.	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS OCASIONADAS POR LAS FUGAS DE VAPOR Y CONDENSADO	79
5.3.1.	Total pérdidas ocasionadas por fugas de vapor y condensado en la red en la industria papelera estudiada	82
5.3.2.	Total pérdidas ocasionadas por las trampas de vapor en la industria papelera estudiada.....	84
5.4.	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR MALOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS	87
5.4.1.	Total pérdidas ocasionadas por malos aislamientos térmicos en la industria papelera estudiada	91
5.5.	CÁLCULO DE OTROS PUNTOS DE AHORRO ENERGÉTICO.....	95
5.6.	RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN LA INDUSTRIA PAPELERA ESTUDIADA.....	97
6.	EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LOS PUNTOS IDENTIFICADOS COMO AHORRO ENERÉTICO.....	100
6.1.	EVALUACIÓN TÉCNIO-ECONÓMICA DE LAS FUGAS EN LA RED DE VAPOR Y CONDENSADO	100

6.2.	EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS FUGAS EN EL SISTEMA DE TRAMPEO.....	101
6.3.	EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS	102
6.4.	EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE OTROS PUNTOS DE AHORRO ENERGÉTICO.....	103
7.	RECOMENDACIONES	104
8.	CONCLUSIONES.....	115
	BIBLIOGRAFÍA	118
	ANEXOS	122

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Efectos de un mal tratamiento del agua en las calderas.	22
Tabla 2. Clasificación de las trampas según su ubicación.	27
Tabla 3. Clasificación de las trampas según su operación.	28
Tabla 4. Criterio para la selección de trampas de vapor.	31
Tabla 5. Características principales de la caldera acuotubular en la industria papelera del Valle de Aburra.	39
Tabla 6. Parámetros de operación de caldera acuotubular.	43
Tabla 7. Características principales caldera pirotubular en la industria papelera del Valle de Aburra.	47
Tabla 8. Características paneles de lana mineral de roca.	62
Tabla 9. Características cañuela preformada de lana mineral de roca.	63
Tabla 10. Características manta flexible de lana mineral de roca.	64
Tabla 11. Datos para el cálculo de la eficiencia de las calderas.	74
Tabla 12. Eficiencia de las calderas en la industria papelera estudiada.	74
Tabla 13. Datos para el cálculo de la recuperación de condensado.	78
Tabla 14. Condensado recuperable en la industria papelera estudiada.	79
Tabla 15. Datos para el cálculo de las pérdidas por fugas de vapor y condensado en las red.	82
Tabla 16. Cálculos de las pérdidas ocasionadas por fugas de vapor y condensado en la red.	83
Tabla 17. Total pérdidas por fugas de vapor y condensado en la red en la industria estudiada.	83
Tabla 18. Datos para el cálculo de las pérdidas por las trampas de vapor.	84
Tabla 19. Cálculos de las pérdidas ocasionadas por las trampas de vapor en la industria estudiada.	86
Tabla 20. Total pérdidas por las trampas de vapor en la industria estudiada.	86

Tabla 21. Datos para el cálculo de las pérdidas ocasionadas por malos aislamientos térmicos.....	92
Tabla 22. Cálculo de las pérdidas ocasionadas por malos aislamientos térmicos.....	93
Tabla 23. Datos para el cálculo del consumo de vapor en la preparación del químico.....	96
Tabla 24. Consumo con el serpentín de vapor en la preparación del químico.....	96
Tabla 25. Consumo con el inyector de vapor en la preparación del químico.	97
Tabla 26. Ahorros económicos.....	98
Tabla 27. Materiales y costos para disminuir las fugas en el red del sistema de vapor y condensado.....	100
Tabla 28. Materiales para disminuir las fugas en el sistema de trampeo	101
Tabla 29. Materiales necesarios para disminuir las pérdidas ocasionadas por los aislamientos térmicos malos.....	102
Tabla 30. Materiales para la instalación del inyector de vapor.....	103
Tabla 31. Coeficientes de dilatación (α).....	109

LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1. Calor necesario para generar vapor en ciertas condiciones.	18
Ilustración 2. Caldera acuotubular.....	20
Ilustración 3. Caldera pirotubular.	21
Ilustración 4. Grafica vapor saturado seco: Presión (bar) Vs. Volumen específico (m^3/kg).	24
Ilustración 5. Típica estación reductora de presión de vapor.	25
Ilustración 6. Trampas mecánicas.....	29
Ilustración 7. Trampas termostáticas.....	30
Ilustración 8. Trampas termodinámicas.....	30
Ilustración 9. Intercambiador de calor, ejemplo de vapor indirecto.	32
Ilustración 10. Flauta para calentamiento de marmita, vapor directo.....	32
Ilustración 11. Atomización con vapor.....	33
Ilustración 12. Turbina de vapor.....	34
Ilustración 13. Calentamiento de líneas con vapor.....	34
Ilustración 14. Serpentín para cocción de alimentos.....	35
Ilustración 15. Diagrama de una maquina de papel.	36
Ilustración 16. Cilindros secadores de papel.....	37
Ilustración 17. Cilindro monolúcido YANKEE.....	37
Ilustración 18. Sistema de secado por medio infrarrojo.	38
Ilustración 19. Quemadores para combustible sólido y liquido, sistema dual en una caldera acuotubular.	40
Ilustración 20. Esquema de una caldera acuotubular típica.....	41
Ilustración 21. Diagrama caldera acuotubular de la industria papelera estudiada.	44
Ilustración 22. Diagrama encendido caldera acuotubular con sistema dual.....	45
Ilustración 23. Caldera pirotubular con cámara seca y cámara húmeda.....	46

Ilustración 24. Diagrama encendido caldera pirotubular.	49
Ilustración 25. Esquema de la red de tubería para la distribución de vapor en la industria papelera del Valle de Aburrá.	51
Ilustración 26. Tanque separador de condensado - vapor Flash.	52
Ilustración 27. Distribuidor de vapor.	53
Ilustración 28. Tanque principal recolector de condensados.	53
Ilustración 29. Trampa de balde invertido ubicada en la línea principal de vapor con bolsillo recolector.	54
Ilustración 30. Trampa termodinámica.	54
Ilustración 31. Vapor directo por medio de flautas.	55
Ilustración 32. Inyector de vapor utilizado en la industria papelera.	56
Ilustración 33. Vapor indirecto en tanque con serpentín.	56
Ilustración 34. Cilindros secadores de papel en un Molino.	57
Ilustración 35. Flanges o bridas para vapor.	59
Ilustración 36. Golpe de ariete en un cambio de dirección.	60
Ilustración 37. Válvula igualadora de presión de vapor.	61
Ilustración 38. Paneles de lana mineral de roca.	63
Ilustración 39. Cañuelas de lana mineral de roca.	64
Ilustración 40. Manta flexible de lana mineral de roca.	65
Ilustración 41. Rollos de fibra de vidrio.	66
Ilustración 42. Placas de fibra de vidrio.	66
Ilustración 43. Bloques de vidrio celular.	67
Ilustración 44. Bloques y cañuelas de poliuretano.	68
Ilustración 45. Presentaciones de silicato de calcio.	68
Ilustración 46. Falla abierta en una trampa de balde invertido.	69
Ilustración 47. Chequeo trampas de vapor por ultrasonido.	70
Ilustración 48. Chequeo visual de las trampas de vapor.	71
Ilustración 49. Diferenciación entre vapor flash y vapor vivo en las líneas.	71
Ilustración 50. Convección natural en tuberías para vapor.	87
Ilustración 51. Radiación térmica en tuberías para vapor.	88

Ilustración 52. Estados del vapor.	91
Ilustración 53. Reducción concéntrica y excéntrica.....	104
Ilustración 54. Evacuación correcta del condensado.	105
Ilustración 55. Formación de bolsa solida de agua.	105
Ilustración 56. Puntos potenciales de formación de golpe de ariete.	106
Ilustración 57. Filtro malo debido al golpe de ariete.	106
Ilustración 58. Derivación de las líneas de vapor.	107
Ilustración 59. Drenaje de las derivaciones de vapor.....	107
Ilustración 60. Drenaje de líneas de vapor en un terreno ascendente.	108
Ilustración 61. Funcionamiento de un separador de vapor en sección.	108
Ilustración 62. Separador de dilatacion en montaje de tuberías de vapor.....	110
Ilustración 63. Soportes tipo patín.....	110
Ilustración 64. Curva completa y lira o herradura.....	111
Ilustración 65. Junta deslizante y fuelle.....	112
Ilustración 66. Disposición de accesorios de dilatación.....	112
Ilustración 67. Valores de expansión según el material.	113
Ilustración 68. Purga y eliminación de aire en las líneas de vapor.....	114

INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso del cartón en empaques secundarios o terciarios continua siendo una alternativa viable, económica y sobretodo apropiada ambientalmente por su condición de reciclable y reutilizable. Por lo tanto la industria del cartón y del papel (en este caso papel Kraft¹) deben permanentemente implementar programas de uso racional y eficiente de energía no sólo para obtener beneficios económicos, sino también para preservar el medio ambiente, disminuyendo las emisiones contaminantes. Vale la pena mencionar, que el presente proyecto se desarrolla en una industria papelera ubicada en el Valle de Aburra, Antioquia, y por políticas internas se reserva el nombre.

La importancia de iniciar un programa de uso racional y eficiente de la energía radica en la necesidad de conocer la eficiencia de los procesos y poder controlar, monitorear y medir los diferentes consumos energéticos que se tiene en la industria papelera (Barriga, 2008).

El uso racional y eficiente de energía se define como “el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades de la cadena, el desarrollo sostenible” (Ministerio de minas y energía, 2007)

En este caso el programa de uso racional y eficiente de la energía (UREE) se centra en el vapor, el cual es una de las principales fuentes energéticas en la producción de papel, ya que de este depende un 20% el secado. La industria papelera utiliza vapor para el secado del papel ya que es eficiente, fácil de

¹ El papel Kraft es el papel mediante el cual se obtienen las diferentes capas que conforman un empaque o caja de cartón.

controlar y económico, si se utiliza de manera adecuada. Por esto se debe hacer un seguimiento o revisión a este sistema periódicamente, para evitar y corregir las posibles pérdidas energéticas que se puedan tener, desde su generación hasta su consumo. Asimismo, el vapor se convierte en energía vital y en uno de los sistemas más importantes para este tipo de empresas, y mantener este sistema a su máxima eficiencia es esencial para tener una producción razonable y sin problemas de calidad por humedad en el producto final (vyc industrial) (Torres, 2009).

En una industria papelera el vapor es transportado desde el punto de generación, en las calderas, hasta los rodillos secadores de papel y otros equipos que usan el vapor como medio de calentamiento. En esta distribución de vapor se pueden generar varias pérdidas energéticas, debido a la transferencia de calor entre la tubería y el ambiente. Esta transferencia de calor produce condensado, el cual debe ser retirado de las tuberías para garantizar un vapor saturado seco que puede ser utilizado en los equipos.

Para disminuir esta transferencia de calor se utiliza un aislamiento térmico en las tuberías de vapor y para retirar el condensado que se produce se utiliza un sistema de trampeo en todo el sistema de distribución. Estos dos aspectos, el aislamiento térmico y la recuperación del condensado, son los puntos donde se puede obtener ahorro energético, ya que reducen las pérdidas por transferencia de calor en las tuberías, y el condensado puede ser utilizado nuevamente en las calderas o en otros equipos que requieran calor (Armstrong International, 1998) (Centro de estudios de la energía, 1990)

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una revisión energética de recuperación de condensado, aislamiento térmico y disminución de fugas en un sistema de distribución de vapor en una planta papelera, con el fin de hacerlo más eficiente.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1. Objetivo 1

Identificar el sistema de distribución y generación de vapor en una planta papelera, para conocer como es el consumo de vapor en sus procesos finales y en otros equipos que utilizan vapor como medio de calentamiento.

1.2.2. Objetivo 2

Identificar y caracterizar los puntos de posible ahorro energético enmarcado en la recuperación de condensado, aislamiento térmico y disminución de fugas de un sistema de distribución de vapor en una planta papelera.

1.2.3. Objetivo 3

Calcular el ahorro energético que se obtiene en los puntos identificados del sistema de vapor.

1.2.4. Objetivo 4

Realizar una evaluación técnico-económica en los puntos identificados, con el fin de justificar alguna inversión, en caso de requerirla.

1.2.5. Objetivo 5

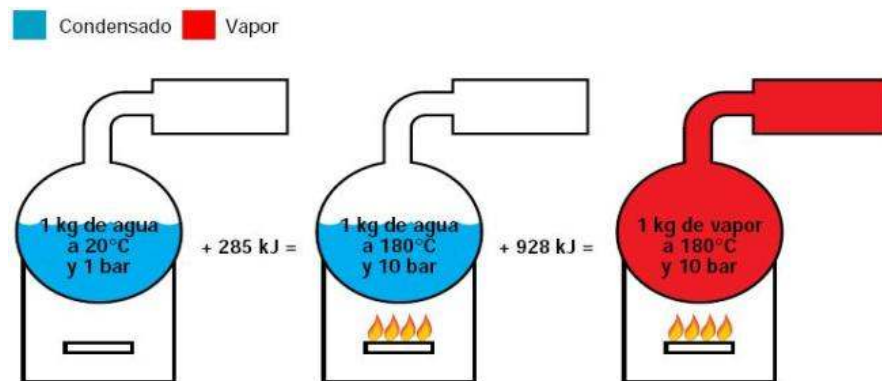
Concluir con los principales resultados obtenidos.

2. ESTADO DEL ARTE

El vapor es uno de los medios de transmisión de energía calórica de mayor efectividad en la industria, se estima que este servicio es utilizado por el 95% de las industrias como medio de calentamiento, por su fácil generación, manejo y bajo costo comparado con otros sistemas.

El vapor se genera en las calderas, las cuales pueden definirse simplemente como un recipiente en el cual se transfiere la energía calorífica de un combustible a un líquido, en este caso agua tratada, hasta producir un cambio de fase de líquido a vapor. A continuación se hace una comparación que muestra la cantidad de calor necesario para generar 1Kg de vapor a 10 bares de presión a partir de 1 Kg de agua a 20°C (Spirax Sarco, 1999).

Ilustración 1. Calor necesario para generar vapor en ciertas condiciones.



(Armstrong International, 1998)

El vapor es generado en una caldera a partir de la utilización de un combustible, generalmente un derivado del petróleo o biomasa, como medio aportante de energía, para transformar el agua en vapor a determinada presión y temperatura. Luego de ser generado, y debido a su presión, puede ser transportado al equipo o

proceso consumidor de vapor sin necesidad de utilizar algún medio mecánico, como una bomba.

El vapor puede ser utilizado en diferentes actividades o procesos con la presión dispuesta desde la caldera. Por ejemplo, en un intercambiador de calor, o también para producir movimiento, como es el caso de una turbina de vapor para generar electricidad.

El vapor puede ser fácil de transportar por medio de una red de tuberías, aunque también presenta algunas limitantes como la generación de condensado² en las redes, el cual crea problemas de corrosión y golpe de ariete, en algunos casos. Adicionalmente el agua con que se genera el vapor debe presentar determinadas características en cuanto a calidad, siendo necesario adecuarla utilizando sustancias químicas (Mesa, 2008) (Spirax Sarco, 2008) (Armstrong International, 1998).

2.1. COMPONENTES BÁSICOS

Los sistemas de vapor están compuestos básicamente por tres subsistemas:

- La generación de vapor: compuesto por las calderas.
- La distribución: compuesta por tuberías para transportar el vapor del lugar de producción hacia los usuarios y el condensado desde los procesos hacia la caldera
- Los consumidores finales: como equipos o procesos donde se requiere esta energía.

² Se conoce como condensado al cambio de fase del vapor de agua a agua líquida debido a la transferencia de calor (calor latente), el cual se da por una liberación de energía.

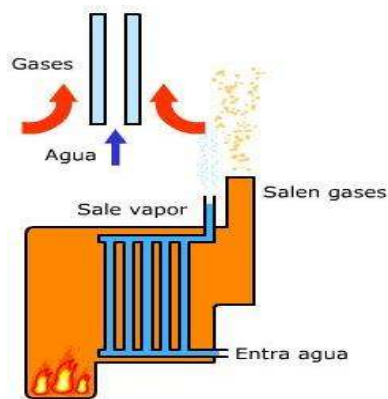
2.1.1. Sistema de generación

El sistema de generación está compuesto por la caldera, donde se realiza la combustión y se calienta el agua hasta cambiar de estado, produciendo vapor como producto final. Hay dos clases de calderas: calderas acuotubulares y calderas pirotubular (Mesa, 2008).

2.1.1.1. Calderas acuotubulares

Trabajan con el agua circulando por dentro de los tubos y los gases que transfieren la energía al agua se encuentran circundando los tubos, es decir los productos de la combustión rodean usualmente los tubos y el agua está en el interior de éstos que se inclinan hacia un recipiente o domo en el punto más alto de la caldera. Las configuraciones de estos tubos describe, por lo general, el tipo de caldera. Se suministran en aplicaciones industriales con capacidades hasta de casi un millón de lbs de vapor por hora. Las presiones de diseño varían desde 100 psig hasta 1200 o 1400 psig con temperaturas de vapor hasta 540°C (Gutierrez, 2009)

Ilustración 2. Caldera acuotubular.

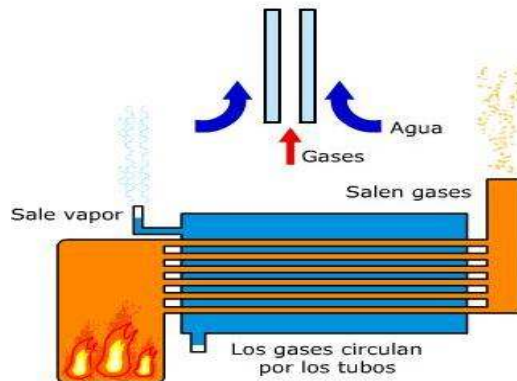


(Mesa, 2008)

2.1.1.2. Calderas pirotubulares

Funcionan con los gases circulando por dentro de los tubos y transfieren su energía al agua que rodea los tubos, es decir, la llama y los productos de la combustión pasan a través de los tubos. El agua calentada u otro medio rodea el hogar interno y los haces de tubos. Se suministran casi siempre en aplicaciones hasta de aproximadamente 30.000 lbs de vapor por hora. Se suministran para operar a baja presión (15 psig y menos) como calderas de potencia (hasta aproximadamente 500 psig de presión de vapor) (Gutierrez, 2009).

Ilustración 3. Caldera pirotubular.



(Mesa, 2008)





2.1.1.3. Agua en calderas

La vida útil de una caldera de vapor de agua está asociada directamente con la calidad del agua con la que se alimenta. Una caldera que opera sin un apropiado control de las propiedades del agua de alimentación pone en riesgo la inversión y la seguridad del área circundante. Adicionalmente, un tratamiento de agua deficiente puede resultar en un mayor consumo de combustible, agua y de

productos químicos debido a incrustaciones y purgas excesivas. Un buen tratamiento de agua es necesario para que una caldera opere de forma segura y confiable. De acuerdo a la presión de trabajo, cada caldera requiere una calidad de agua (Armstrong International, 1998) (Mesa, 2008) (Gutierrez, 2009)

El agua natural sin tratar contiene sustancias disueltas en mayor o menor cantidad, particularmente sales de sodio, calcio, magnesio e hierro. En estado coloidal existe sílice y óxido de hierro. También contiene disueltos gases del aire como oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2). Si estas sustancias llegan a la caldera producen los siguientes efectos expuestos en la tabla:

Tabla 1. Efectos de un mal tratamiento del agua en las calderas.

Efecto	Descripción	Imagen
Incrustaciones	Ensuciamiento de los tubos internamente, debido a la dureza del agua por presencia de sales de magnesio y calcio. Estas incrustaciones evitan la transferencia de calor de los gases a través de los tubos hacia el agua, generando disminución en la eficiencia del equipo y pérdidas de energía. La presencia de incrustaciones de 1/16" en una caldera pirotubular produce un incremento de 6,4% en el consumo de combustible.	
Picadura	La picadura es un ataque localizado en la tubería por presencia de oxígeno en el agua. Para evitar la presencia de este elemento en el agua de alimentación es necesario buscar la poca solubilidad del oxígeno en el agua aumentando presión o temperatura. Puede usarse un desaireador o químicos a base de sulfito o cromato de sodio.	
Corrosión	Ataque general y no localizado, causado por bajos valores de PH El valor de esta variable del agua debe estar entre 10,5-11,5. Para neutralizar los ácidos se utilizan soluciones básicas.	
Sedimentación	Presencia de sólidos disueltos o en suspensión los cuales causan taponamiento de elementos de monitoreo, tales como el visor de nivel o dañar equipos de control. Para evitar la sedimentación pueden emplearse la purga continua y de fondo de la caldera y utilizar químicos a base de sulfito o cromato de sodio.	

(Armstrong International, 1998) (Mesa, 2008).

2.1.2. Distribución de vapor y recuperación de condensados

Posterior a la generación del vapor en la caldera es necesario un medio para llevar la energía del vapor hacia los procesos que lo requieren. Este medio de transporte es conocido como la red de distribución de vapor y retorno de condensado, que a su vez está conformada por una serie de elementos.

Líneas o redes generalmente de acero cuya función es llevar el vapor desde la caldera hacia los equipos consumidores. Deben ser seleccionadas de acuerdo al flujo y presión que circula por ellas. Una mala selección ocasionará pérdidas de energía y daños en válvulas, trampas de vapor o equipos consumidores. La velocidad media del vapor y el condensado no debe sobrepasar 50 m/s y 5 m/s, respectivamente (Spirax Sarco, 2008) (Spirax Sarco, 1999).

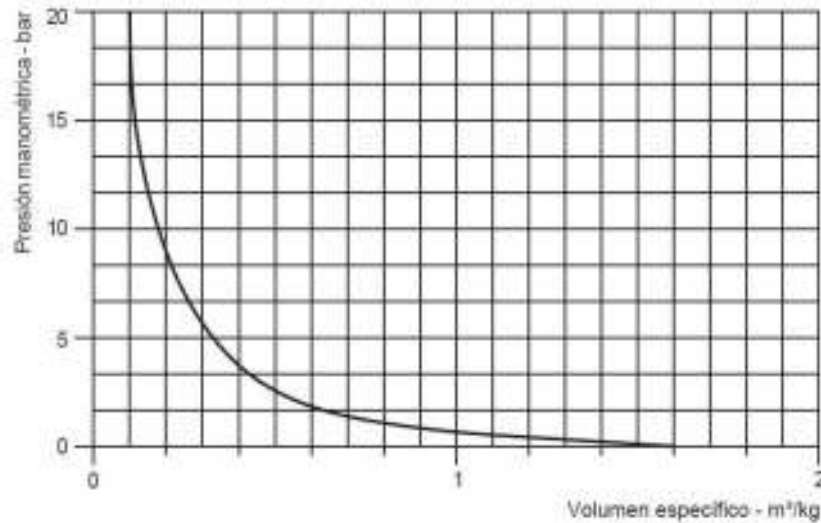
2.1.2.1. Red de tubería

El vapor fluye por la tubería debido a la presión de trabajo que se alcanza desde las calderas. La determinación de esta presión depende de: la máxima presión requerida en el punto de utilización del vapor; la caída de presión a lo largo de la tubería, debido a la resistencia al pasar el fluido, en este caso vapor; y por último, se deben tener en cuenta las pérdidas de calor en la tubería debido a la radiación.

Se recomienda transportar el vapor a altas presiones porque ocupa menos volumen por kilogramo que el vapor a baja presión. Por lo tanto si el vapor se genera desde las calderas a una alta presión y se distribuye a esta presión, el tamaño de las tuberías será mucho menor.

La siguiente gráfica ilustra la relación entre el volumen específico del vapor dependiendo su presión manométrica (Spirax Sarco, 2008).

Ilustración 4. Grafica vapor saturado seco: Presión (bar) Vs. Volumen específico (m^3/kg).



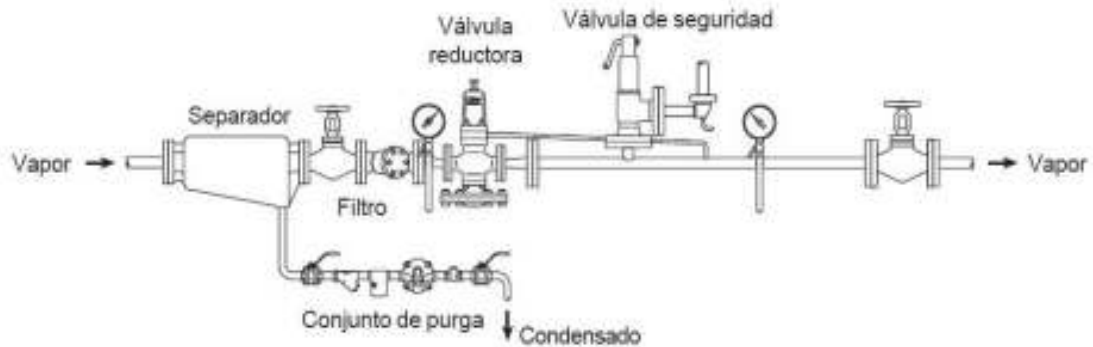
(Spirax Sarco, 2008)

Las ventajas de transportar el vapor a altas presiones son:

- Se requieren tuberías de distribución de vapor de menor diámetro. Al tener un diámetro menor en las tuberías, la superficie de intercambio de calor es menor, contribuyendo a un ahorro energético.
- Menor costo del aislamiento térmico.
- La capacidad de almacenamiento térmico de la caldera aumenta y contribuye a soportar de forma más eficiente las fluctuaciones de carga, disminuyendo el riesgo de arrastre de agua y de impurezas en el vapor.

Al distribuir el vapor a altas presiones, se hace necesario reducir la presión en cada zona o punto de utilización del vapor y ajustarlo a cada aplicación específica. Uno de los métodos más comunes para reducir la presión de vapor, es la utilización de estaciones reductores de presión, las cuales están compuestas por una válvula de reductora de presión, filtros, válvulas de seguridad, válvulas de bloqueo, separador de humedad y conjunto de purga o condensado (Spirax Sarco, 1999) (Spirax Sarco, 2008)

Ilustración 5. Típica estación reductora de presión de vapor.



(Spirax Sarco, 2008)

Generar el vapor a altas presiones conlleva a quemar más combustible en las calderas, por lo que los costos de generación aumentan. Se debe encontrar un balance entre la presión y el consumo de combustibles, para no tener costos elevados de generación de vapor pero también tener los beneficios descritos anteriormente con la distribución del vapor a altas presiones (Spirax Sarco, 2008).

2.1.2.2. Trampas o purgadores de vapor

Se utilizan para desalojar condensado de las líneas de distribución o a la salida de los intercambiadores ó de un equipo consumidor. Estas abren en presencia de condensado y cierran en presencia de vapor. Garantizan el buen funcionamiento de tuberías y elementos de la red y contribuyen al uso eficiente de la energía.

Una trampa para vapor es un dispositivo que permite: eliminar condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor.

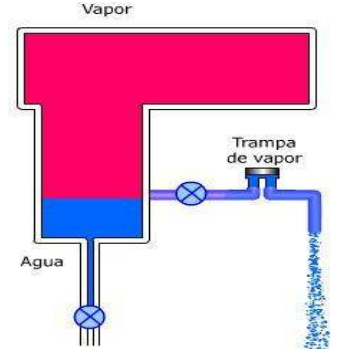
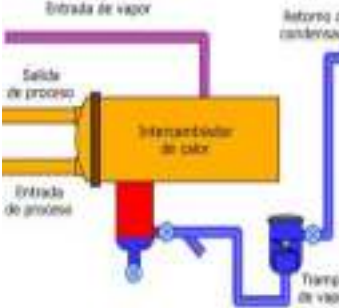
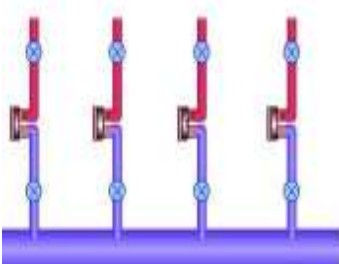
- Eliminación de condensado: El condensado debe pasar siempre, rápido y completamente a través de la trampa para vapor para obtener un mejor aprovechamiento de la energía térmica del vapor.
- Eliminación de aire y otros gases no condensables: El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Además, se debe tener presente que el O_2 y el CO_2 causan corrosión.
- Prevención de pérdidas de vapor: No deben permitir el paso de vapor sino hasta que éste ceda la mayor parte de energía que contiene, también las pérdidas de vapor deben ser mínimas mientras la trampa libera vapor condensado, aire y gases incondensables.

Se pueden clasificar según su ubicación en el sistema de vapor o según su forma de operación.

- Clasificación según su ubicación: Esta clasificación corresponde a la ubicación que tienen las trampas de vapor en todo el circuito de vapor, es decir en la red principal de distribución de vapor, en los equipos que funcionan con vapor o trampas de proceso y las trampas de circuito de calentamiento. A continuación se hace una descripción de esta clasificación de las trampas de vapor

(Spirax Sarco, 1998) (Armstrong, 1997)

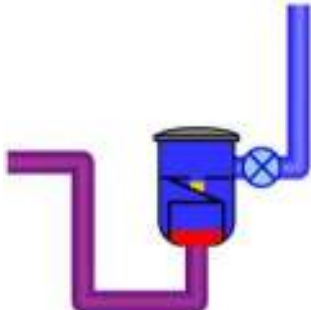
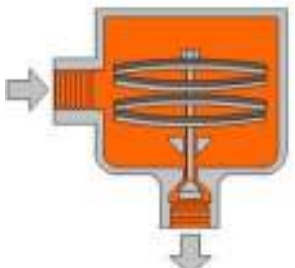
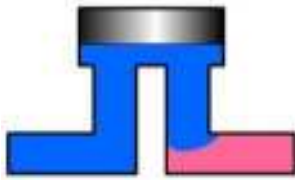
Tabla 2. Clasificación de las trampas según su ubicación.

Clasificación	Descripción	Imagen
Trampas en la red	Ubicadas en la red de distribución de vapor en lugares donde se produce fácilmente el condensado, por ejemplo depósitos o bolsillos y tramos de tubería con reducciones, también suelen ubicarse trampas al menos cada 30 metros ya que el vapor que circula pierde energía con el ambiente y puede condensarse. Estas trampas protegen los diferentes elementos de la red contra el efecto martillo o golpe de ariete, producido por el choque del condensado a alta velocidad.	
Trampas de proceso	El vapor que ingresa al equipo o proceso demandante de energía cede su calor latente transformándose en condensado. Este debe ser desalojado para evitar pérdidas de calor e inundación del serpentín o intercambiador de calor. Para ello se ubican trampas de vapor a la salida del equipo de intercambio de calor.	
Trampas de circuito de calentamiento	Algunas redes de transporte y distribución de líquidos requieren el calentamiento continuo del fluido para mantener bajos niveles de viscosidad haciendo posible el bombeo. Para mantener estas temperaturas se ubican serpentines con circulación de vapor arrollados a la tubería o red de bombeo, el que se transforma en condensado al ceder su energía y posteriormente ser desalojado del sistema mediante la instalación de trampas.	

(Mesa, 2008).

- Clasificación según su operación: La clasificación según su operación corresponde a la manera cómo funcionan las trampas de vapor. A continuación se hace una descripción de las trampas de vapor clasificadas según su operación mecánica, termostática ó termodinámica.

Tabla 3. Clasificación de las trampas según su operación.

Tipo de operación	Descripción	Imagen
Mecánicas	Las trampas mecánicas trabajan con el principio de diferencia entre la densidad del vapor y la del condensado. Por ejemplo, un flotador que asciende a medida que el nivel del condensado se incrementa, abriendo una válvula, pero que en presencia del vapor la mantiene cerrada o una trampa de balde invertido que en presencia de vapor asciende por la fuerza ejercida por el vapor cerrando la válvula y abre cuando se encuentra con presencia de condensado	
Termostáticas	Las trampas termostáticas operan por la percepción de la temperatura del condensado. Cuando la temperatura cae a un específico valor por debajo de la temperatura del vapor, la trampa termostática abrirá para liberar el condensado, entre ellas se encuentran las bimetalicas que opera por la diferencia de coeficiente de expansión térmica entre varillas que se encuentran unidas, y que empujan un vástago según la temperatura que censan.	
Termodinámicas	Las trampas Termodinámicas operan con la diferencia entre el flujo del vapor sobre una superficie, comparada con el flujo del condensado sobre la misma superficie. El vapor o el gas fluyendo sobre la superficie crean un área de baja presión. Este fenómeno es empleado para mover la válvula hacia el asiento y así cerrar su paso.	

(Mesa, 2008) (Armstrong International, 1998).

El deber de una trampa de vapor es descargar condensado sin permitir el escape de vapor vivo. A continuación, se muestran algunas imágenes de las trampas de vapor clasificadas según su operación.

- Mecánica: Para este tipo de operación existen trampas de boya y de balde invertido, en la siguiente figura se muestran este tipo de trampas con una breve descripción ilustrativa de su funcionamiento.

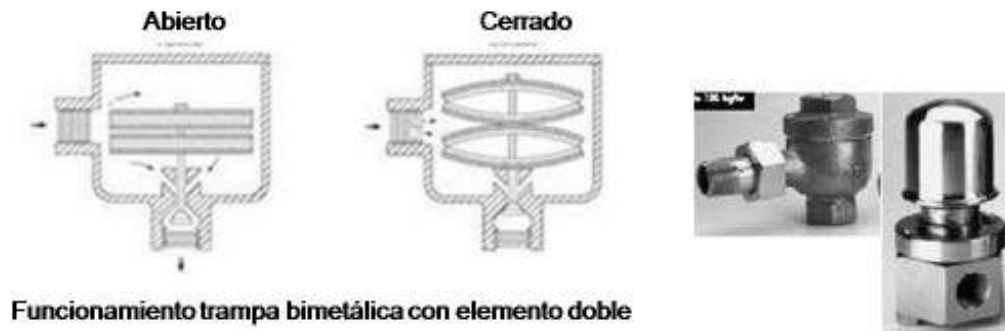
Ilustración 6. Trampas mecánicas.



(Armstrong, 1997) (Spirax Sarco, 1998)

- **Termostáticas:** Generalmente funcionan con un material bimetálico, el cual se dilata o contrae según la temperatura, recordemos que el vapor se encuentra a una temperatura mayor a los 100°C y el condensado se encuentra en una temperatura menor a los 98°C. En la siguiente figura se hace una descripción ilustrativa de su funcionamiento.

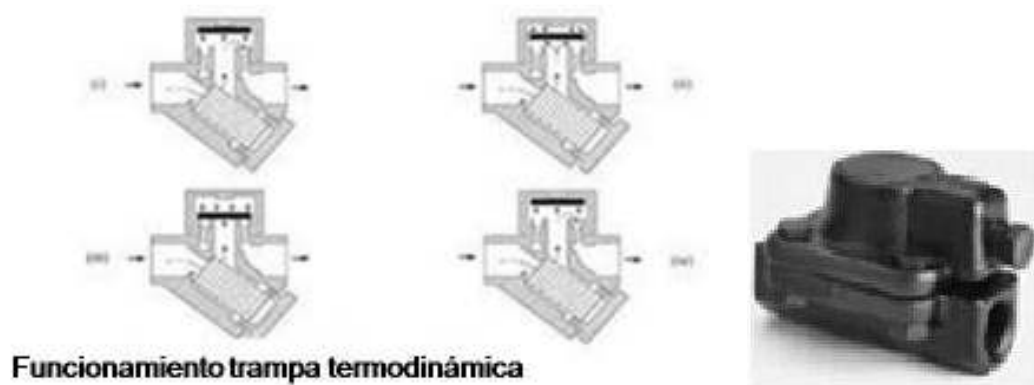
Ilustración 7. Trampas termostáticas.



(Armstrong, 1997) (Spirax Sarco, 1998)

- **Termodinámicas:** Este tipo de trampas tienen un disco, el cual se libera cuando hay acumulación de condensado, debido a que se crea una zona de alta presión. Cuando se descarga todo el condensado de la línea, disminuye la presión y el disco bloquea nuevamente la salida de condensado. Son las más utilizadas en la industria debido a su fácil selección e instalación.

Ilustración 8. Trampas termodinámicas.



(Armstrong, 1997) (Spirax Sarco, 1998)

A continuación se presentan los principales criterios para la selección de las trampas comerciales:

Tabla 4. Criterio para la selección de trampas de vapor.

Cualidades de Operación de las Diferentes Trampas de Vapor					
Código	Característica	Balde Invertido	F & T	Disco	Termostática
A	Modo de Operación	(1) Intermitente	Continuo	Intermitente	(2) Intermitente
B	Ahorro de Energía (Tiempo en Servicio)	Excelente	Bueno	Deficiente	Adecuado
C	Resistencia al Desgaste	Excelente	Buena	Deficiente	Adecuada
D	Resistencia a la Corrosión	Excelente	Buena	Excelente	Buena
E	Resistencia al Impacto Hidráulico	Excelente	Deficiente	Excelente	(4) Deficiente
F	Venteo de Aire y CO ₂ a la Temperatura del Vapor	Si	No	No	No
G	Capacidad para Ventear Aire a Presiones Muy Bajas (0.02 bar)	Deficiente	Excelente	(5) NR	Buena
H	Capacidad para Manejar Cargas de Aire al Arranque	Adecuada	Excelente	Deficiente	Excelente
I	Funcionamiento al Existir Contrapresión	Excelente	Excelente	Deficiente	Excelente
J	Resistencia a Daños por Congelamiento	Buena	Deficiente	Buena	Buena
K	Capacidad para Purgar el Sistema	Excelente	Adecuada	Excelente	Buena
L	Desempeño con Cargas Muy Ligeras	Excelente	Excelente	Deficiente	Excelente
M	Respuesta a Formación Rápida de Condensado	Inmediata	Inmediata	Retardada	Retardada
N	Capacidad para Lidar con Suciedad	Excelente	Deficiente	Deficiente	Adecuada
O	Tamaño Relativo	(7) Grande	Grande	Pequeño	Pequeño
P	Capacidad para Manejar Vapor Espontáneo (Flash)	Adecuada	Deficiente	Deficiente	Deficiente
Q	Falla Mecánica (Abierta - Cerrada)	Abierta	Cerrada	(8) Abierta	(9)

1. El drenado de condensado es continuo, la descarga es intermitente.
2. Puede ser continuo con cargas bajas.
3. Excelente, si se utiliza vapor secundario.
4. Buena, para trampas bimetalicas y de wafer.

5. No se recomienda para operaciones a baja presión.
6. No se recomiendan trampas de hierro fundido.
7. Mediano, para trampas soldables de acero inoxidable.

8. Pueden fallar cerradas, debido a suciedad.
9. Pueden fallar abiertas o cerradas, dependiendo del diseño de los fuelles.

(Armstrong, 1997)

A la hora de seleccionar una trampa de vapor, es muy importante tener en cuenta la capacidad de evacuación y la presión a la que trabaja la trampa.

2.1.3. Consumidores del vapor

Los equipos donde el vapor entrega su energía pueden ser de manera directa o indirecta. Los equipos que usan vapor indirecto, son aquellos en los cuales el vapor ingresa al equipo por medio de un intercambiador de calor o serpentín, el cual cede su calor latente, transfiriendo la energía a un fluido o al material de proceso. El vapor al ceder parte de su energía se transforma en condensado y

sale del intercambiador o serpentín por la presión del sistema mediante la apertura de una trampa de vapor.

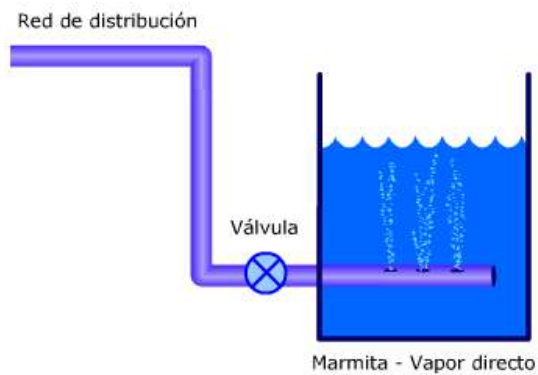
Ilustración 9. Intercambiador de calor, ejemplo de vapor indirecto.



(Mesa, 2008)

Usar el vapor directo en un equipo es cuando este ingresa directamente al fluido o al material de proceso cediendo el total de su energía. El sistema acumula masa con el condensado producido por el cambio de fase del vapor. Un ejemplo de este equipo es un calentador de agua con entrada de vapor con una flauta.

Ilustración 10. Flauta para calentamiento de marmita, vapor directo.



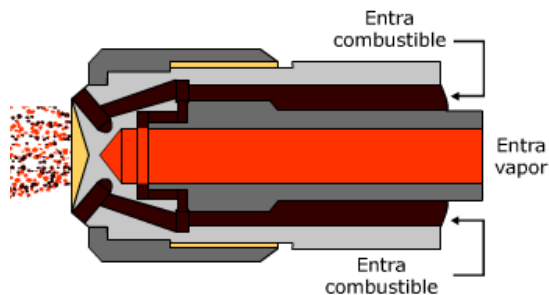
(Mesa, 2008)

2.1.3.1. Aplicaciones

A continuación se muestran las principales aplicaciones para el uso de vapor directo e indirecto.

- Atomización de combustibles: En procesos de combustión de combustibles líquidos es necesario atomizar el fluido combustible para disminuir el tamaño de las gotas y aumentar el contacto con el aire. Este proceso puede realizarse aumentando la presión del combustible utilizando una bomba o mediante el uso de un fluido auxiliar como el vapor. En este proceso el vapor ingresa a una cámara donde se mezcla con el combustible aumentando su presión atomizándolo en una boquilla de salida.

Ilustración 11. Atomización con vapor.



(Mesa, 2008)

- Turbina de vapor: En turbo maquinaria, específicamente en turbinas, se utiliza vapor para transformar la energía del flujo en energía mecánica. El vapor sale de la caldera a condiciones de sobrecalentamiento, es decir a alta temperatura y presión. En la turbina se transforma la energía interna del vapor en energía mecánica que, típicamente, es aprovechada por un generador para producir electricidad.

Ilustración 12. Turbina de vapor.



(Open Energy)

- Calentamiento de líneas de bombeo: En algunos procesos de bombeo de un fluido de un lugar a otro es necesario mantener el flujo de bombeo bajo ciertas características de viscosidad mediante la adición de calor. El aumento de la temperatura disminuye la viscosidad del líquido a transportar permitiendo que sea trasegable³. En esta aplicación serpentines con vapor en su interior son arrollados a la tubería de bombeo, permitiendo el intercambio de calor.

Ilustración 13. Calentamiento de líneas con vapor.



(Mesa, 2008)

³ Cambiar un líquido de un recipiente a otro.

- Procesos de cocción de alimentos: En la industria alimenticia se utilizan marmitas provistas de enchaquetados o serpentines de vapor. Son simplemente ollas que utilizan el vapor como fuente de energía para alistar los alimentos que en ellas encuentran. El principio de operación se basa en la transferencia de energía por condensación del vapor en agua.

(Mesa, 2008) (Ministerio de Minas y Energía, 2005)

Ilustración 14. Serpentín para cocción de alimentos.



(Mesa, 2008)

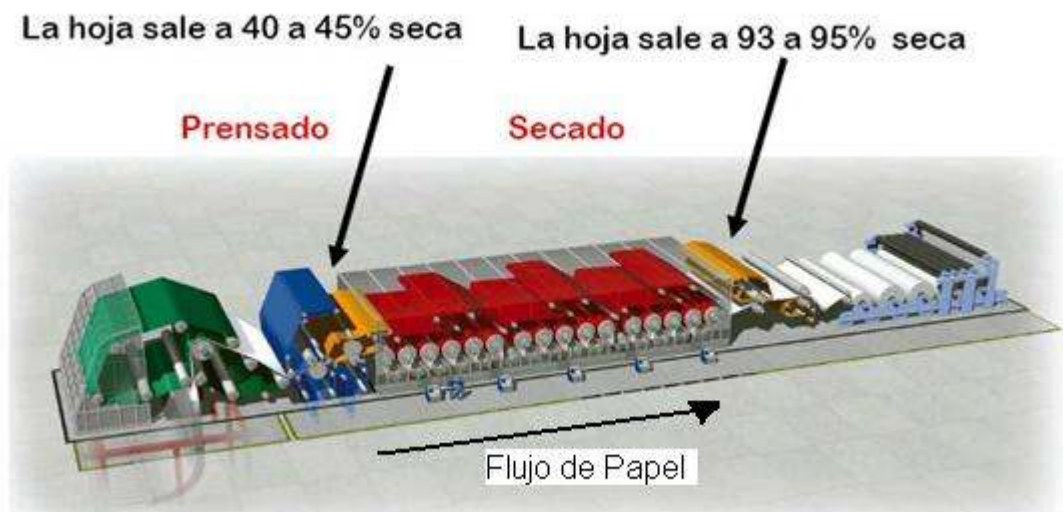
3. IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA

Los sistemas de vapor de la mayoría de las industrias están compuestos por tres subsistemas:

- Generación del vapor: Compuesto por las calderas.
- Distribución del vapor: Compuesto por la red de tuberías que transportan el vapor desde el punto de generación hasta el usuario final del vapor.
- Consumidores del vapor: Son los equipos o procesos donde se utiliza la el vapor.

La industria papelera es gran consumidora de vapor, debido a que gran parte del sistema de secado de papel se hace por medio de este sistema, se estima que alrededor del 50% del secado del papel depende del vapor. El vapor en la industria papelera puede ser utilizado con diferentes medios de transferencia, dependiendo el tipo de papel y la velocidad de la maquina productora de papel (Torres, 2009).

Ilustración 15. Diagrama de una maquina de papel.



(Torres, 2009)

Los sistemas de secado más conocidos en la industria papelera son:

- Secadores cilíndricos: Utilizado para los papeles de impresión, fotocopias, cartulinas y cartones.

Ilustración 16. Cilindros secadores de papel.



(Torres, 2009)

- Cilindro secador monolúcido o cilindro YANKEE: Utilizado para producción de papeles higiénicos, toallas y papeles con acabado brillante

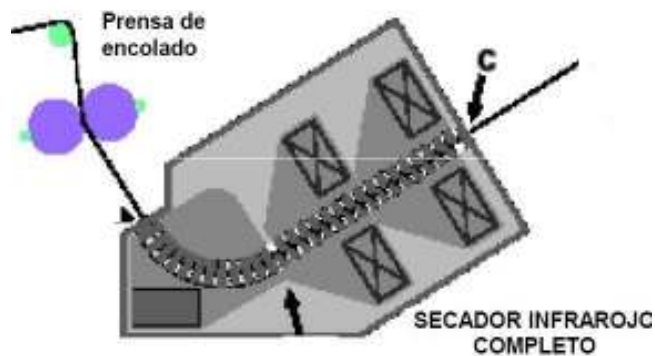
Ilustración 17. Cilindro monolúcido YANKEE.



(Torres, 2009)

- Secado infrarrojo: Puede ser eléctrico o a gas, y consiste en cajas infrarrojas antes y después de las prensas.

Ilustración 18. Sistema de secado por medio infrarrojo.



(Torres, 2009)

3.1. SISTEMA DE GENERACIÓN

Debido al alto consumo de vapor que demandan las industrias papeleras, generalmente se tienen varias calderas que suplan las necesidades de vapor según el consumo necesario para una correcta producción de papel. Así se puede mantener estable la demanda de vapor sin necesidad de desperdiciarlo cuando no se necesite, apagando la(s) caldera(s) que no se necesiten.

Este sistema de apagado o encendido automático depende de un controlador electrónico y de la tecnología que tenga cada caldera, además para poder hacer este control automático las calderas no deben ser muy grandes, sino de un tamaño y producción de vapor regular para lograr una producción de vapor rápida según las necesidades de producción de papel.

Para tener un equilibrio en el sistema de vapor, es decir una caldera a capacidad de producción de 100% y otra caldera que complemente la cantidad de vapor,

pero que solo se utilice cuando haya una gran demanda en la producción de papel, la industria papelera estudiada, optó por tener dos calderas, una acuotubular que se mantiene a máxima capacidad y otra pirotubular que se enciende según la demanda de vapor (Spirax Sarco, 1999) (vyc industrial)

3.1.1. Caldera acuotubular

Una caldera acuotubular es aquella en la que el agua circula por dentro de los tubos y los gases que transfieren la energía al agua se encuentran circundando los tubos. Este tipo de calderas son utilizadas para altos rendimientos de vapor y presiones altas, además son mas robustas y por ende más costosas.

La caldera acuotubular de la industria papelera ubicada en el Valle de aburra tiene la posibilidad de funcionar con dos combustibles, a este sistema se le conoce como dual. Los combustibles utilizados son carbón como combustible primario y fuel-oil como combustible secundario para hacer la combustión en el hogar de la caldera. Esta caldera consta de un gran número de tubos para el agua, muy próximos entre sí, conectados a uno o más cuerpos colectores que funcionan como cámaras de agua y separador de vapor, facilitando una rápida circulación del agua y vaporización (Spirax Sarco, 1999) (Gutierrez, 2009)

Tabla 5. Características principales de la caldera acuotubular en la industria papelera del Valle de Aburra.

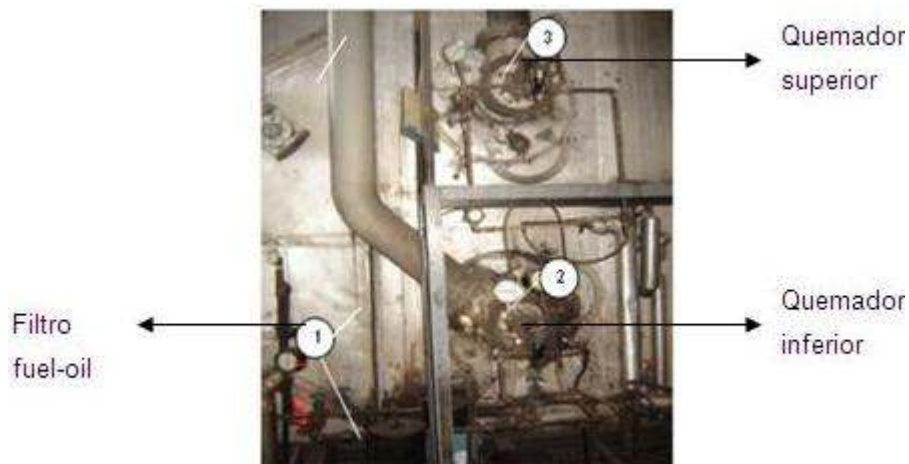
ITEM	VALOR
Tipo	Acuotubular
Potencia	1200 BHP
Presión máxima	180 PSIG
Flujo vapor	40.000 lb/h
Combustible	Carbón
	Fuel-oil

3.1.1.1. Componentes caldera acuotubular

Los principales componentes de una caldera acuotubular son:

- Quemadores: Es un mecanismo que introduce la mezcla adecuada de combustible y aire a la cámara de combustión, donde la mezcla es quemada y los productos de la combustión son removidos. El quemador debe proporcionar el aire suficiente para tener una correcta combustión de carbón, debe resistir altas temperaturas y ciclos de trabajo prolongados. Requiere mecanismos para enfriar la superficie de combustión. Su alimentación debe ser uniforme y controlable en velocidad para evitar exceso de inquemados⁴.

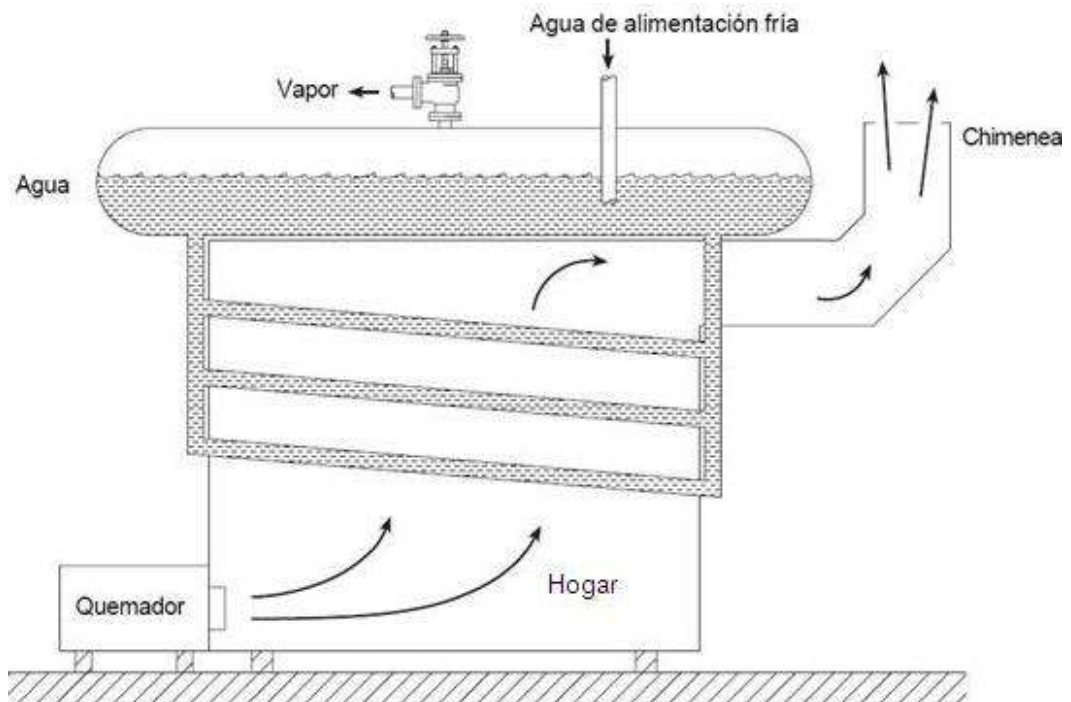
Ilustración 19. Quemadores para combustible sólido y liquido, sistema dual en una caldera acuotubular.



⁴Los inquemados se definen como la materia combustible que ha quedado sin quemar o parcialmente quemada. Pueden ser de dos clases: *Sólidos* como carbono (hollín), los cuales provocan un oscurecimiento de los humos de combustión o *gaseosos*, como monóxido de carbono o hidrógeno.

- Hogar: este es el lugar donde se efectúa la combustión.
- Cuerpos colectores: estos funcionan como cámaras de agua y separadores de vapor.
- Tubos de acero que reciben el calor y lo transmiten al agua para la evaporación.
- Recalentador: tubería donde el vapor saturado se convierte en vapor recalentado
- Economizador: es un haz de tubos por los que pasa el agua de alimentación calentándose parcialmente y en los que se aprovecha el calor residual de los humos.
- Chimenea y tiro: tienen como función evacuar los gases de combustión e introducir el aire dentro del hogar.

Ilustración 20. Esquema de una caldera acuotubular típica.



(Spirax Sarco, 1999)

3.1.1.2. Principio de funcionamiento

Se parte de una masa de agua, la cual circula por un proceso de limpieza por medio de tratamientos químicos en donde se le realiza un floculado, filtrado, suavizado y desaireado para llevarse a los domos y finalmente a la caldera. Este proceso se realiza únicamente cuando se inicia la caldera luego de una parada larga por motivos de mantenimiento en la planta, generalmente el agua que utiliza la caldera es agua de condensado que se recupera de las líneas de distribución y de los consumidores finales del vapor. Debido a que el condensado no se puede recuperar en un 100%, al agua faltante para el consumo de la caldera se le debe realizar el proceso de limpieza mencionado anteriormente porque es un agua de reposición o agua fresca.

Cuando se inicia la caldera acuotubular dual, se recircula fuel-oil por medio de bombas, realizando un barrido de aire por aproximadamente 3 minutos. Luego del barrido de aire, se abre la atomización con aire comprimido, se abre la válvula de fuel-oil del quemador inferior calibrando la presión entre 20 a 40 PSIG, se enciende un mechón para colocarlo dentro del quemador y se ajusta la llama manipulando los variadores de los ventiladores y el aire secundario obteniendo una llama brillante pareja.

Cuando la presión llegue a 70 PSIG, inmediatamente se inicia la alimentación de carbón gradualmente, es decir introduciendo carbón rebajando la entrada de fuel-oil hasta obtener la generación de vapor estipulada. Cuando se tengan consumos mayores de 16000lb/h de vapor, se debe iniciar el quemador superior con carbón, abriendo el quemador 3 minutos antes para evitar descompensaciones en el hogar y buscando un equilibrio de consumos de combustible entre los quemadores superior e inferior. El porcentaje de oxígeno no debe ser superior a 6%, para evitar una mala combustión que genere inquemados y sature las mangas del filtro de talegas.

3.1.1.3. Parámetros de operación de la caldera acuotubular

En la siguiente tabla se resumen los principales parámetros de operación de una caldera acuotubular con las características anteriormente mencionadas.

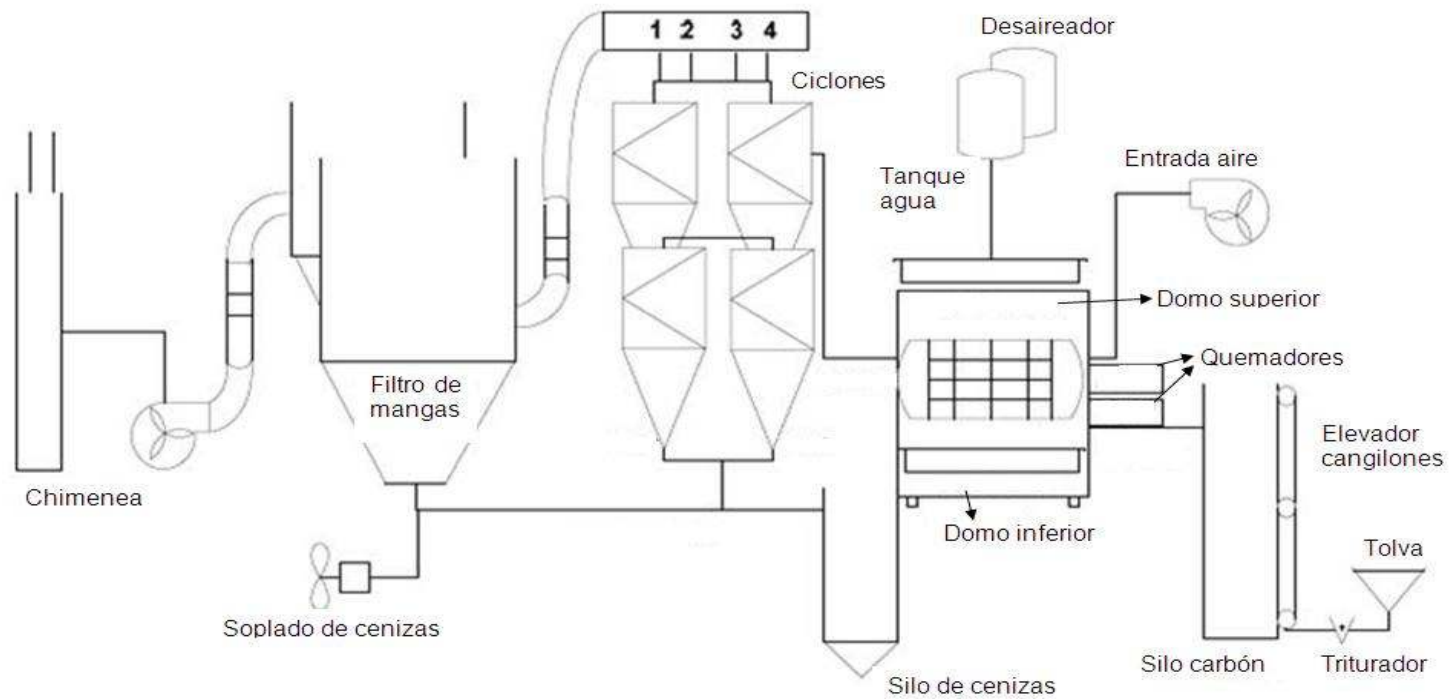
Tabla 6. Parámetros de operación de caldera acuotubular.

Parámetros de operación	Valores
Oxígeno (%)	6 – 8 %
Nivel mínimo del domo (%)	50%
Presión del domo	160 – 180 PSIG
Presión bomba de agua	270 – 300 PSIG, debe ser 20 PSIG mayor que la presión de vapor
Flujo de vapor	40.000 lb/h máximo
Presión desaireador	8 PSIG
Temperatura de agua del desaireador	100 – 102 °C, lo ideal es 105°C
Temperatura del carbón	60 – 75 °C, lo ideal es 100°C
Temperatura del crudo	96°C
Velocidad ventilador tiro forzado	1180 RPM máximo
Velocidad ventilador tiro inducido (sistema de mangas)	1200 RPM máximo
Presión de atomización quemador inferior vapor en vacío, sin crudo	30 PSIG
Presión de atomización quemador superior vapor en vacío, sin crudo	30 PSIG
Temperatura gases de salida de la caldera	160 – 200 °C, lo ideal es 190°C
Presión crudo	150 – 200 PSIG

3.1.1.4. Diagrama del equipo

A continuación se muestra el diagrama de la caldera acuotubular de la industria papelera estudiada.

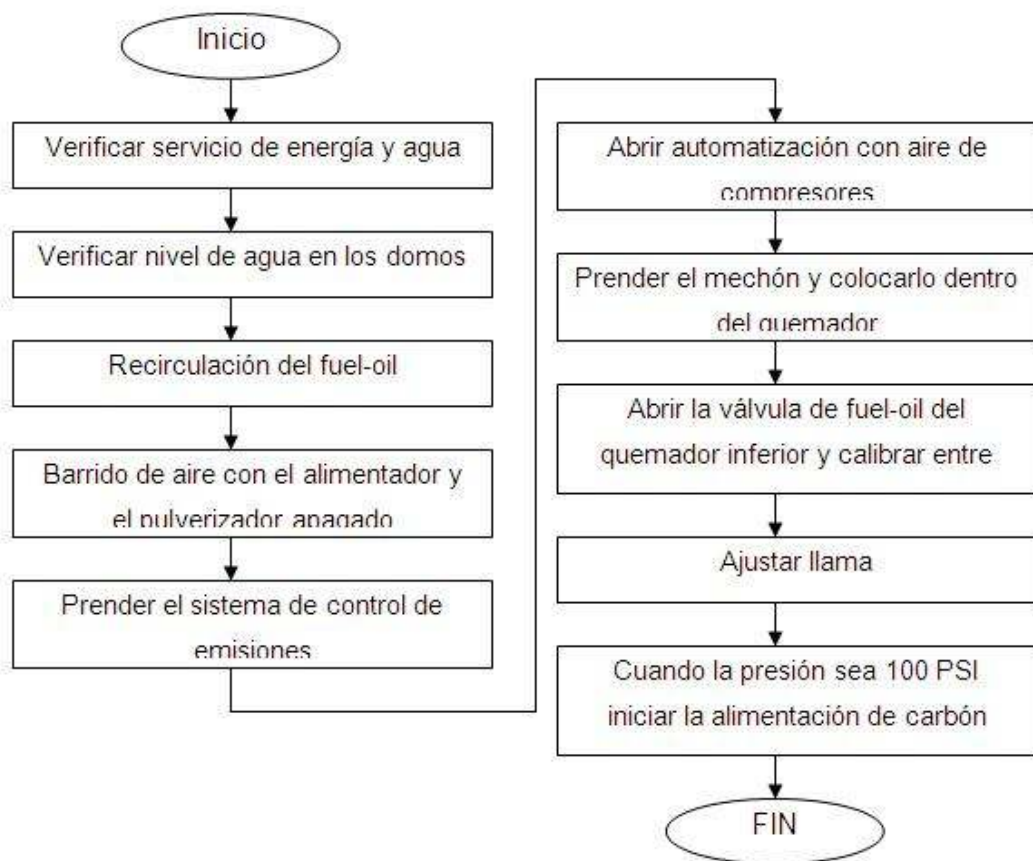
Ilustración 21. Diagrama caldera acuotubular de la industria papelera estudiada.



3.1.1.5. Procedimiento de encendido

A continuación se muestra un diagrama que muestra el procedimiento regular para el encendido de una caldera acuotubular con sistema dual de combustión.

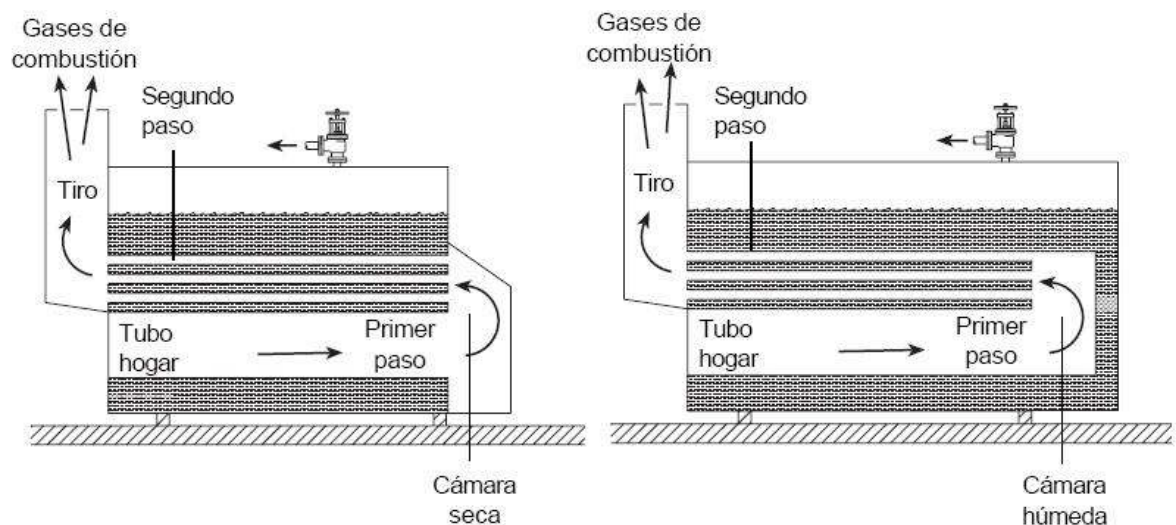
Ilustración 22. Diagrama encendido caldera acuotubular con sistema dual.



3.1.2. Caldera pirotubular

En las calderas pirotubulares los gases circulan por dentro de los tubos y transfieren su energía al agua que rodea los tubos. Pueden ser puestas en marcha rápidamente. Existen varias combinaciones de distribución de los tubos, esto dependiendo el número de pases que hará el calor del hogar de la caldera antes de descargarlo. Las calderas con cámara húmeda son más eficientes, debido a que la cámara de inversión está completamente dentro de la caldera, permitiendo que haya una mayor área de transferencia de calor.

Ilustración 23. Caldera pirotubular con cámara seca y cámara húmeda.



(Spirax Sarco, 1999)

Pueden tener un sistema de combustión dual, que utiliza gas natural, que se toma de la red, como combustible primario y fuel-oil como combustible secundario para hacer la combustión en el hogar de la caldera.

La caldera pirotubular de la industria papelera ubicada en el Valle de aburra, igual que la caldera acuotubular, tiene la posibilidad de funcionar con dos combustibles o con el llamado sistema dual de combustión. Los combustibles utilizados en esta

caldera son gas natural, que se toma de la red y es el combustible primario. Como combustible secundario la caldera puede trabajar con fuel-oil, pero debido a la buena eficiencia del gas natural y por su costo, siempre realiza la combustión con gas natural.

Las calderas pirotubulares tienen algunas desventajas que limitan su presión y producción de vapor. Por ejemplo, los gases de combustión deben enfriarse antes de alcanzar la cámara de inversión como mínimo a 420°C para las calderas de acero y a 470°C para las calderas de aleación de acero. Temperaturas mayores pueden causar sobrecalentamiento y por ende grietas en las planchas externas del hogar (Spirax Sarco, 1999)

Tabla 7. Características principales caldera pirotubular en la industria papelera del Valle de Aburra.

ITEM	VALOR
Tipo	Pirotubular
Potencia	500 BHP
Presión	170 PSIG
Flujo	10.000 lb/h
Combustible	Gas natural
	Fuel-oil

3.1.2.1. Componentes caldera pirotubular

Sus partes más importantes son:

- Hogar: este es el lugar donde se efectúa la combustión.
- Tubos de acero que reciben el calor y lo transmiten al agua para la evaporación.

- Recalentador: tubería donde el vapor saturado se convierte en vapor recalentado
- Chimenea: tienen como función evacuar los gases de combustión e introducir el aire dentro del hogar.

3.1.2.2. Principio de funcionamiento

La caldera pirotubular de esta industria papeleras entra en funcionamiento cuando la caldera principal, en este caso la caldera acuotubular, está a su máximo flujo de vapor y la demanda se incrementa debido a la alta producción de papel, lo que exige más vapor, es ahí donde la caldera pirotubular comienza a trabajar generando el vapor necesario para suplir la demanda.

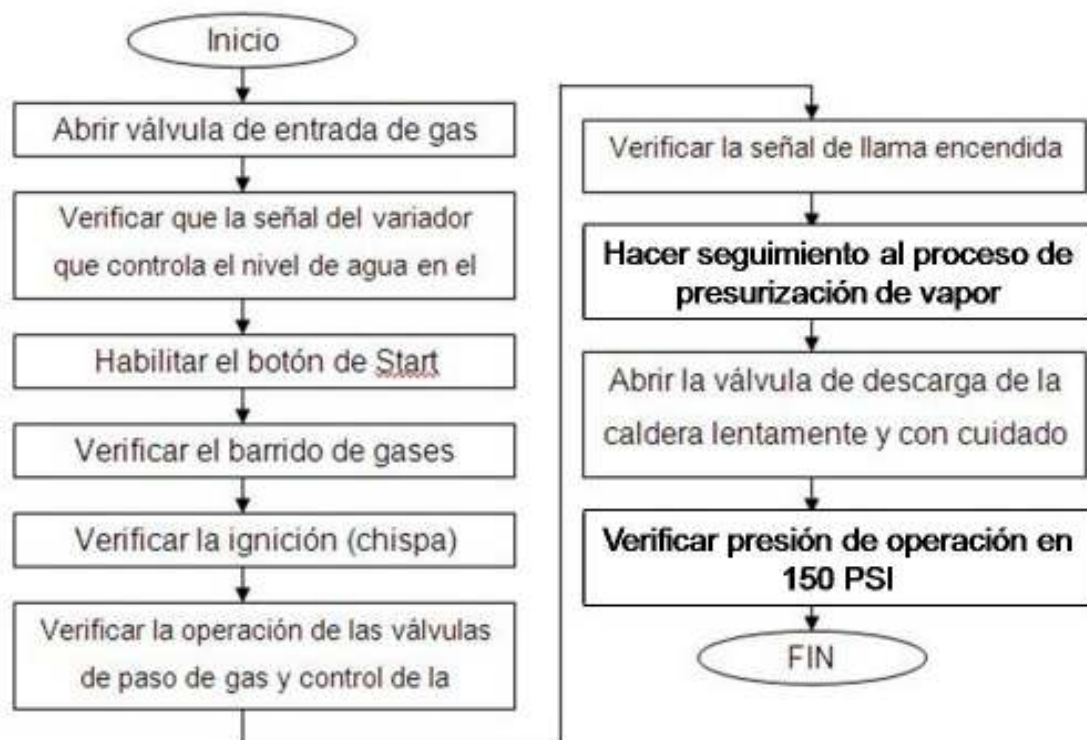
El agua de alimentación para la caldera pirotubular se toma del mismo tanque de alimentación para la caldera acuotubular de la planta. Además del tratamiento que recibe el agua para la caldera acuotubular, el agua de alimentación para caldera pirotubular, debe recibir un tratamiento adicional, ya que las calderas pirotubulares requieren agua de gran pureza.

Esta caldera es totalmente automatizada, así cuando la demanda de vapor en la planta aumenta, ésta inicia automáticamente con gas natural, y cuando la demanda de vapor disminuye por algún motivo, como por ejemplo un reviente de papel, la caldera se apaga. Esta caldera pirotubular cuenta con un sistema de control que monitorea las variables más críticas e importantes de la caldera, como el nivel de agua, flujo de combustible, presión de combustible, flujo de aire, evacuación adecuada de los gases por la chimenea, calidad de los gases de exosto, flujo de vapor, presión de vapor, entre otras variables que son muy importantes tenerlas controladas en las calderas.

3.1.2.3. Procedimiento de encendido

A continuación se muestra un diagrama que muestra el procedimiento regular para el encendido de una caldera pirotubular con sistema dual de combustión.

Ilustración 24. Diagrama encendido caldera pirotubular.



3.2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El vapor generado en las calderas de la industria papelera estudiada, es distribuido por tuberías de acero al carbón con diámetro de 6 pulgadas y schedule⁵ 80. La presión del vapor en esta empresa está entre 140-150 psig hasta llegar a la estación reductora, donde se reduce con una presión entre 40-50 psig. Al salir de la estación reductora, el vapor es transportado hacia los secadores de papel, donde se vuelve a reducir la presión con válvulas autorreguladoras de presión.

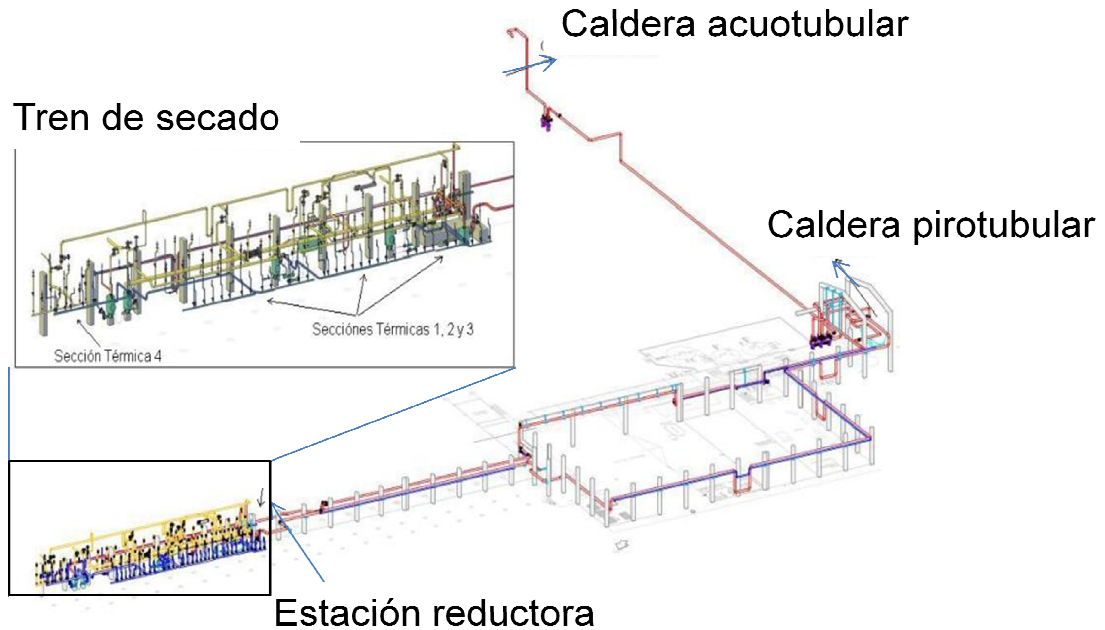
El tren de secado de esta industria papelera estudiada está dividido en 4 secciones térmicas, a las cuales llega vapor saliente de la estación reductora (40-50 psig aproximadamente) y luego se reduce a cierta presión determinada para cada sección térmica. Las tres primeras secciones tienen una capacidad de presión máxima de 70 psig y la cuarta sección tiene capacidad de llegar hasta 120 psig máximo.

El vapor también es distribuido a otros equipos o tanques donde se preparan químicos necesarios para la formación del papel. El vapor ingresa a los tanques de químicos por medio una tubería de diámetro menor, 1 pulgada y un schedule 40. Se reduce la presión por medio de una válvula autorreguladora hasta 80 psig aproximadamente.

A continuación, se muestra un esquema con el sistema de distribución de vapor de esta industria papelera. Se rotula la ubicación de las calderas y la estación reductora.

⁵ Schedule: espesor de la tubería.

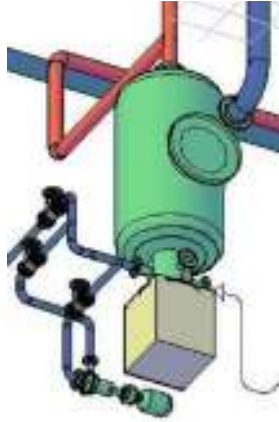
Ilustración 25. Esquema de la red de tubería para la distribución de vapor en la industria papelera del Valle de Aburrá.



3.2.1. Tanques separadores de condensado

Los tanques separadores de condensados están ubicados a la salida de las 4 secciones térmicas de secado de esta industria papelera. Estos tanques separan el condensado del vapor vivo que aún puede ser utilizado en los procesos del de secado de papel.

Ilustración 26. Tanque separador de condensado - vapor Flash.



El condensado entra por el frente del tanque (tubería azul) y debido a la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado, el condensado cae por gravedad y llega a la parte inferior del tanque, mientras el vapor sube y sale por la parte superior (tubería roja).

3.2.2. Tanque distribuidor de vapor

Los distribuidores de vapor son utilizados generalmente cuando la generación del vapor se realiza en varias calderas, por lo que se hace necesario la utilización de estos distribuidores de vapor, para estabilizar la presión y el flujo del vapor que es generada a diferentes presiones en las distintas calderas.

En la industria papelerá estudiada la generación del vapor, como se dijo anteriormente, se realiza en dos calderas por lo que es necesaria la utilización del distribuidor de vapor. Con la utilización de este distribuidor se garantiza un flujo de vapor constante hacia los equipos que necesitan vapor para sus procesos.

Ilustración 27. Distribuidor de vapor.



3.2.3. Tanque principal de condensado

Este tanque es el encargado de recolectar todo el condensado que se recupera por medio de las trampas, los separadores de humedad y los tanques separadores de vapor. Cuando el nivel del tanque es superior al 50%, se activa la bomba, la cual por medio de un variador, envía el condensado a las calderas y mantiene el nivel del tanque en un rango permitido de operación, sin dejarlo rebozar o dejar caer el fluido por debajo del 50% en el tanque.

Ilustración 28. Tanque principal recolector de condensados.



3.2.4. Trampas de vapor en la industria papelera estudiada

Las trampas de vapor utilizadas en la industria papelera estudiada son de balde invertido, de boya y termodinámicas debido a sus características de funcionamiento y las presiones a las que se trabaja en esta industria. Las trampas de vapor están ubicadas en las líneas principales de vapor con bolsillos recolectores, a la salida de los equipos consumidores de vapor como intercambiadores y en el tren de secado del papel.

Ilustración 29. Trampa de balde invertido ubicada en la línea principal de vapor con bolsillo recolector.



Ilustración 30. Trampa termodinámica.



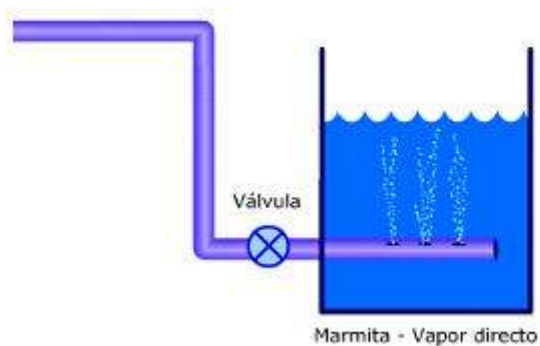
3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS CONSUMIDORES DE VAPOR

Los elementos donde finalmente llega el vapor para entregar su energía al producto o proceso, se pueden clasificar en consumidores de vapor directo o vapor indirecto.

3.3.1. Vapor directo

El vapor directo ingresa al fluido o al material de proceso cediendo el total de su energía. El sistema acumula masa con el condensado producido por el cambio de fase del vapor. Como ejemplo de este equipo se cita un calentador de agua con entrada de vapor por unos orificios, conocido como flauta.

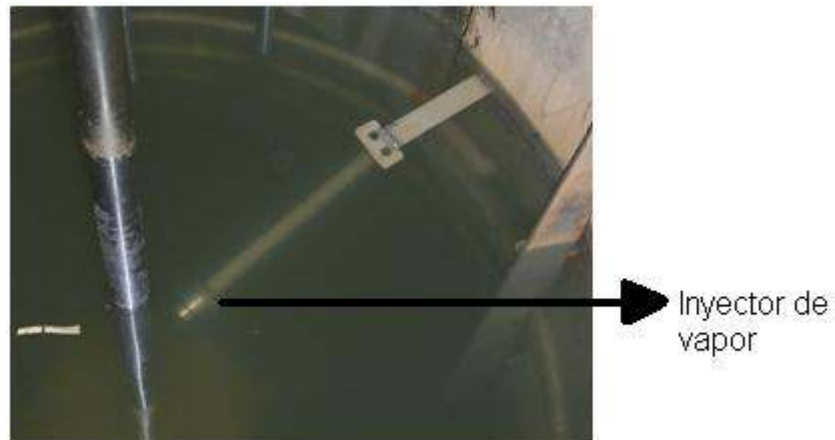
Ilustración 31. Vapor directo por medio de flautas.



(Mesa, 2008)

En la industria papelera estudiada se utiliza también un atomizador o inyector de vapor, el cual realiza la cocción de un producto químico que se utiliza en la preparación del papel en la mesa de formación.

Ilustración 32. Inyector de vapor utilizado en la industria papelera.



3.3.2. Vapor indirecto

El vapor que ingresa al equipo cede su calor latente transfiriendo la energía a un fluido o al material de proceso. El vapor al ceder parte de su energía se transforma en condensado y sale del intercambiador o serpentín por la presión del sistema mediante la apertura de una trampa de vapor. Generalmente este condensado puede ser recuperado y llevado nuevamente a la caldera, siempre y cuando su flujo y condición química lo justifiquen (Mesa, 2008)

Ilustración 33. Vapor indirecto en tanque con serpentín.

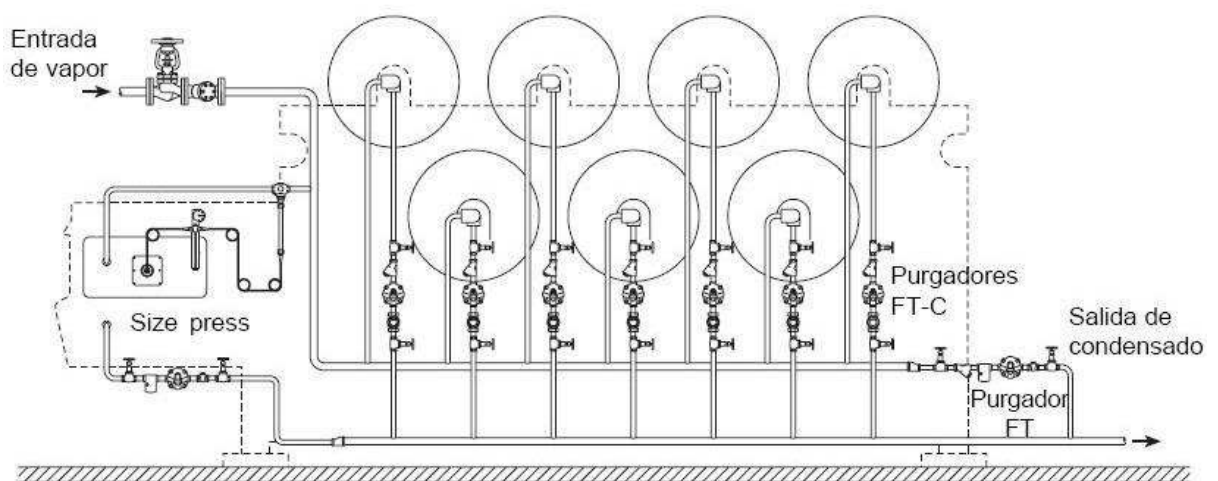


3.3.3. Equipos consumidores de vapor en la industria papelera.

En el proceso de secado del papel de esta industria papelera, utilizan cilindros secadores. A los cilindros secadores les ingresa vapor a una presión determinada, como se dijo anteriormente, entre 40 y 100 PSIG aproximadamente, dependiendo del consumo que la planta requiera (gramaje del papel, velocidad de la maquina, entre otros). Este vapor entrega su energía por medio de la pared de los cilindros, y para evacuar el condensado de los cilindros se dispone de un sistema de juntas Johnson, las cuales evacuan el condensado del interior de los cilindros secadores mediante una zapata, la cual esta a milímetros de distancia del cilindro. El condensado es evacuado por las juntas siempre y cuando se mantenga una presión diferencial de vapor en los cilindros.

A continuación se muestra un diagrama con la disposición de los cilindros y sus respectivas entradas de vapor y salidas de condensado con las trampas de vapor (Spirax Sarco, 1998) (Torres, 2009).

Ilustración 34. Cilindros secadores de papel en un Molino.



(Spirax Sarco, 1998)

4. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE AHORRO ENERGÉTICO EN EL SISTEMA DE VAPOR

La energía que se utiliza para el secado del papel en el molino proviene del vapor generado por las calderas. Es por esto que se debe hacer un uso racional y eficiente de este sistema, evitando pérdidas energéticas que se traducen en un sobre costo económico para la empresa. Se debe realizar una auditoría interna en la empresa con el fin de minimizar las pérdidas, y así mismo reducir los costos de operación. Una auditoría interna para el uso eficiente del sistema de vapor debe enfocarse en tres factores fundamentales: fugas en el sistema, recuperación de condensado y aislamientos térmicos (Mesa, 2008) (Barriga, 2008) (Ministerio de minas y energía, 2007)

4.1. FUGAS

Es frecuente encontrar empresas que admiten como “normal” el hecho de tener fugas excesivas en el sistema de vapor y condensado. Por un lado, están teniendo pérdidas económicas considerables, y por otra parte, se está jugando con la seguridad e integridad de los empleados de toda la empresa, ya que una fuga de vapor ó condensado puede generar graves quemaduras en la piel, teniendo en cuenta que este fluido es transportado a una alta presión.

Las fugas en los sistemas de vapor y condensado generalmente se presentan por:

- Uniones roscadas o soldadas: Debido a la dilatación del material, estos puede fallar y fisurarse, provocando fugas en el sistema.
- Mal montaje del sistema: Cuando se hace alguna modificación en el sistema de vapor, pueden haber fallas en el montaje como desalineamiento de las tuberías lo que causa fugas posteriormente.
- Materiales inadecuados: Cuando se hace una mala selección de materiales para los sistemas de vapor, generalmente estos fallan causando fugas y

pérdidas de tiempo. Es importante tener en cuenta que los materiales para los sistemas de vapor, siempre son diseñados especialmente para estos sistemas.

- Los flanges⁶ o bridas: Estos van sellados con una empaquetadura entre ellas, la cual puede fallar debido a una mala selección del material, mal montaje ó muchas veces excede el tiempo de vida útil de la empaquetadura, dejando escapar vapor o condensado.
- Los sellos de las válvulas: También son un gran foco de escape de fugas de vapor, fallando debido a las altas temperaturas y provocando fugas internas en las tuberías. La válvula no corta 100% el paso del fluido, o también pueden presentar fallas externas por el prensa estopa, donde el vapor es expuesto al medio.

(Lopez, 2010)

Ilustración 35. Flanges o bridas para vapor.

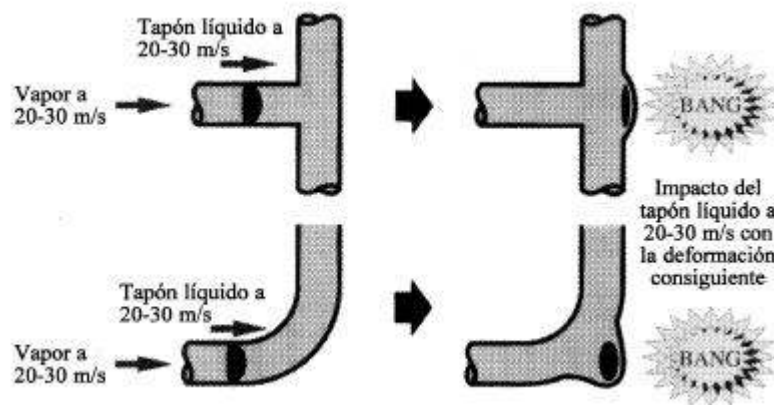


(Maestranza JavaChile)

⁶ Los flanges (bridas) son aquellos elementos de una línea de cañerías destinados a permitir la unión o ensamblado de las partes, sean éstas cañerías, válvulas, bombas u otro equipo que forme parte de la línea. Es un elemento que puede proveerse como una parte separada o como una pieza que viene unida, desde fábrica, a un elemento como una válvula, una bomba u otra pieza. Existe una gran diversidad de diseños, dimensiones, materiales y normas en relación a los flanges.

- Golpe de ariete: es uno de los mayores problemas en las instalaciones de vapor y la mayoría de veces es el causante de las fugas en este sistema. El golpe de ariete se produce cuando el vapor encuentra un “tapón de condensado”, el cual es arrastrado por el vapor hasta un cambio de dirección, donde se produce el golpe de ariete. El golpe de ariete puede llegar a ser tan fuerte hasta dañar válvulas de control, bridas, las cuales pueden desplazarse tanto hasta dañarse, reventar sellos e incluso algunos equipos de fundición pueden explotar (Seditesa).

Ilustración 36. Golpe de ariete en un cambio de dirección.



(Seditesa)

Una manera sencilla de evitar la acumulación de condensado en las líneas de vapor, es purgar el sistema con un buen trampeo e instalando válvulas igualadoras de presión en todo el sistema de distribución de vapor. Las válvulas igualadoras de presión son válvulas instaladas en la misma red de vapor pero con un diámetro menor, la cual debe abrirse lentamente para igualar la presión a lado y lado de la válvula instalada en la “línea principal” evitando cambios bruscos de temperatura en el material, que a su vez ocasiona dilataciones térmicas muy fuertes en el sistema y por ende provocan fugas (Russel W. Lane, 1995) (Seditesa).

Ilustración 37. Válvula igualadora de presión de vapor.



4.2. AISLAMIENTOS TÉRMICOS

Los aislamientos térmicos son una de las mejores soluciones para la conservación de la energía. Los aislamientos en las líneas de vapor no solo deben considerarse como un medio de ahorro económico, sino también para evitar la acumulación de condensado en las líneas de distribución y todos los problemas que esto conlleva, debido a las pérdidas por radiación, causadas por la falta del aislamiento o por un aislamiento ineficiente. El aislamiento térmico no solo debe considerarse para las líneas de distribución, sino también para tanques y equipos que trabajen con vapor. De igual forma tener un buen aislamiento térmico en las tuberías elimina la posibilidad de quemadura al tener contacto directo con las líneas que transportan vapor ó líquidas a altas temperaturas.

Existen varios tipos de aislantes térmicos utilizados en la industria para aislar sistemas de vapor. Dependiendo la temperatura del vapor y las propiedades que se necesiten para aislar, se debe seleccionar el material aislante. Los más conocidos son: lana mineral de roca, fibra de vidrio, silicato de calcio, entre otros (Centro de estudios de la energía, 1990) (FiberGlass Colombia, 1999)

4.2.1. Lana mineral de roca

El aislante de lana mineral de roca puede ser utilizado en tres formas: paneles, cañuelas preformadas y manta flexible.

- Paneles de lana mineral de roca: Son considerados como el material más ligero y más económico de los materiales aislantes para uso comercial e industrial. Es útil para aislamiento térmico y acústico, y para protección contra fuego en fábricas, plantas de fuerza, calderas, almacenamientos fríos y calientes. En la siguiente tabla se describen sus principales características.

(Gerdipac Industrial)

Tabla 8. Características paneles de lana mineral de roca.

Característica	Especificación
Densidad [Kg/m ³]	40,60,80,100,150
Espesor [mm]	30,50,80,100
Dimensiones [mm]	1200x600
Conductividad térmica [w/mk]	0.035 a 70°C
Protección contra fuego	No combustible, grado A
Resistencia a la temperatura [°C]	450
Prueba contra humedad	<95%

(Gerdipac Industrial)

Ilustración 38. Paneles de lana mineral de roca.



(Gerdipac Industrial)

- Cañuelas preformadas de lana mineral de roca: Son un material ligero y económico, y se utiliza para aislamiento térmico y acústico, y para protección contra incendio en plantas de fuerza⁷, dispositivos de combustible, fábricas, sistemas de aire acondicionado, entre otras aplicaciones. A continuación se presentan las características de las cañuelas de lana mineral de roca.

Tabla 9. Características cañuela preformada de lana mineral de roca.

Característica	Especificación
Densidad [Kg/m ³]	32,40,48,64
Espesor [mm]	25,30,50
Longitud [mm]	1000
Diámetro interno [mm]	De 18 a 4500
Conductividad térmica [w/mk]	0.035 a 70°C
Protección contra fuego	No combustible, grado A
Resistencia a la temperatura [°C]	600
Prueba contra humedad	<95%

(Gerdipac Industrial)

⁷ Planta de fuerza: grupo electrógeno ó máquina que mueve un generador de electricidad y sirve de respaldo en sistemas eléctricos, en caso de ausencia de energía o en caso de no haber energía en un lugar determinado. Por ejemplo un generador diesel o a gas.

Ilustración 39. Cañuelas de lana mineral de roca.



(Gerdipac Industrial)

- Manta flexible de lana mineral de roca: Es un material aislante suave y de fácil instalación. Es utilizada para la protección contra fuego, aislamiento térmico y acústico, depósitos de combustible de grandes dimensiones, calderas, techos, entre otras. Generalmente viene con refuerzo de malla galvanizada. A continuación se muestran las principales características de la manta flexible de lana mineral de roca.

(Gerdipac Industrial)

Tabla 10. Características manta flexible de lana mineral de roca.

Característica	Especificación
Densidad [Kg/m ³]	60,80,100,120
Espesor [mm]	40,50,60,70,80,100
Dimensiones [mm]	5000x600 – 5000x910
Conductividad térmica [w/mk]	0.035 a 70°C
Protección contra fuego	No combustible, grado A
Resistencia a la temperatura [°C]	600
Prueba contra humedad	<95%

(Gerdipac Industrial)

Ilustración 40. Manta flexible de lana mineral de roca.



(Gerdipac Industrial)

4.2.2. Fibra de vidrio

La fibra de vidrio como aislante térmico está compuesta de sílice y es fundida a altas temperaturas y mediante centrifugado se obtienen fibras largas y flexibles a las que se les impregnan aglomerantes que le dan la rigidez necesaria. Generalmente viene en presentaciones como paneles, mantas, telas y cañuelas. Es utilizada en ambientes desde -18°C hasta los 454°C (FiberGlass Colombia, 1999).

Sus ventajas son:

- A prueba de incendios: No propaga la llama ni produce humo tóxico, es resistente al fuego, está clasificado dentro de las características de quemado superficial y es clasificado como material tipo A, siguiendo la norma ASTM E84, FS/SD, 25/50.
- Absorción acústica: Disminuye sonidos indeseados del exterior al interior.
- Estabilidad dimensional: Mantiene su integridad estructural y su eficiencia con el paso del tiempo, su espesor se conserva uniforme.

- Posee muy buena recuperación cuando se comprime, además el aire dentro de las celdas abiertas favorece el factor de conductividad.

(FiberGlass Colombia, 1999)

Ilustración 41. Rollos de fibra de vidrio.



(FiberGlass Colombia, 1999)

Los rollos de fibra de vidrio son generalmente utilizados en tuberías, debido a que facilita su instalación.

Ilustración 42. Placas de fibra de vidrio.



(FiberGlass Colombia, 1999)

Las placas de fibra de vidrio se utilizan en aplicaciones de gran dimensión como calderas, equipos, tanques entre otras aplicaciones (FiberGlass Colombia, 1999).

4.2.3. Otros

Los aislantes térmicos tienen muchas aplicaciones y materiales que deben ser seleccionados de acuerdo a su capacidad y a la aplicación para la cual va a ser utilizado el aislamiento. La principal característica que se debe tener en cuenta para la selección de un aislante térmico es resistencia térmica y conductividad. Entre los aislantes térmicos más utilizados encontramos:

- Vidrio celular: Las placas de vidrio celular se obtiene a partir de polvo vítreo mediante un proceso termo químico, creándose por fusión de multitud de células cerradas en estado parcial vacío las cuales se comunican entre sí por una fina pared de vidrio. Su presentación es en bloques y uso más frecuente es procesos fríos ya es resistente a temperaturas de -286°C .

(Gerdipac Industrial)

Ilustración 43. Bloques de vidrio celular.



(Gerdipac Industrial)

- Poliuretano: Compuesto a base de dos componentes químicos que son el polioliol y el isocianato, que al combinarse generan una reacción expansiva, quedando finalmente como un material rígido y compacto. Sus principales presentaciones son bloques y cañuelas. Su rango de resistencia de temperatura varía desde -183°C hasta los 149°C (Gerdipac Industrial).

Ilustración 44. Bloques y cañuelas de poliuretano.



(Gerdipac Industrial)

- Silicato de calcio: Es moldeado y preformado en media caña y bloques de 3 pies y 2 pies de longitud. La tierra diatomácea y la cal reforzada con fibra de vidrio inorgánico dan un color grisáceo natural, libre de asbesto totalmente. Es ligero y de baja conductividad térmica, así como resistente al agua, lo que le permite soportar tráfico pesado y ambiente húmedo. Su principal característica es que posee una excelente protección anticorrosiva, que reduce la corrosión del material en las tuberías o equipos. (Gerdipac Industrial).

Ilustración 45. Presentaciones de silicato de calcio.



(Gerdipac Industrial)

4.3. RECUPERACIÓN DE CONDENSADO

Gran parte del ahorro energético que se tiene en las calderas es la recuperación del condensado, ya que éste posee los químicos necesarios para ser usado en la caldera, además de estar a una temperatura más elevada que la del agua común, proporcionando un mejor aprovechamiento energético, una mejor eficiencia de la caldera y por ende un ahorro de combustible.

Las trampas de vapor constituyen gran parte del sistema de retorno de condensado, ya que separan el vapor vivo de la red de vapor del condensado que se produce en estas líneas. Las trampas de vapor pueden fallar de dos maneras: cuando la fuga es abierta y cuando la fuga es interna. Cuando hacemos referencia a una fuga abierta, es cuando la trampa falla en su estructura física externa, ya sea por corrosión o por que la empaquetadura cumplió su vida útil.

Ilustración 46. Falla abierta en una trampa de balde invertido.



La falla interna hace referencia a las fallas del mecanismo interno de la trampa. Generalmente cuando el mecanismo falla, no es necesario reemplazar toda la trampa de vapor, simplemente se reemplaza el mecanismo, el cual es conocido comercialmente como “Kit”. Para reemplazar el kit es necesario, como para la selección de las trampas, conocer la presión de vapor de la línea en la cual está

ubicada la trampa de vapor y conocer también la referencia de la trampa. La revisión o chequeo de las trampas de vapor, en la industria papelera estudiada, se realiza mediante ultrasonido.

El paso del vapor a través del orificio de la trampa, genera un ultrasonido cuya frecuencia e intensidad están relacionadas fundamentalmente con la presión y temperatura del vapor, la densidad del vapor, la velocidad de paso del vapor a través del orificio y la geometría del orificio. La presencia de ultrasonido en una trampa en posición cerrada, es decir con vapor, significa claramente la existencia de una fisura a través de la cual se produce una fuga interna o externa de vapor. Aún así, es prácticamente imposible determinar la magnitud de la fuga a partir de la medida de ultrasonido ya que ello depende de la geometría de la trampa, la geometría de la fisura y las variables termodinámicas del vapor. En todo caso la correlación entre ultrasonido y tamaño de fuga tendría que establecerse para cada válvula y en cada caso (Spirax Sarco, 1998) (Moscoso, 1995) (Armstrong, 1997) (Armstrong International, 1998)

Ilustración 47. Chequeo trampas de vapor por ultrasonido.



(Moscoso, 1995)

Otra manera de hacer un chequeo preventivo a las trampas de vapor, es ubicar una válvula a la salida de la trampa. Al abrir la válvula, solo debe salir condensado

con vapor flash⁸, si por el contrario observamos presencia de vapor vivo, entonces la trampa tiene presenta fuga.

Ilustración 48. Chequeo visual de las trampas de vapor.



(Moscoso, 1995)

Al hacer la inspección visual de las trampas de vapor es muy importante saber diferenciar entre el vapor flash resultante de los procesos y el vapor vivo generado en las calderas (Moscoso, 1995)(Armstrong, 1997).

Ilustración 49. Diferenciación entre vapor flash y vapor vivo en las líneas.



(Moscoso, 1995)

⁸ El vapor flash es el vapor revaporizado resultante de descargar el condensado de una presión mayor a otra menor.

5. CÁLCULO DEL AHORRO ENERGÉTICO EN UN SISTEMA DE VAPOR

Para realizar el cálculo del ahorro energético del sistema de vapor de la industria papelera, necesitamos conocer la eficiencia de sus calderas y los costos aproximados de combustibles, tratamiento de agua, temperatura del agua de entrada, entre otros datos.

A continuación, se presentan las formulas a partir de las cuales se pueden calcular los ahorros energéticos del sistema de vapor. Estos cálculos se ingresan a una hoja de Microsoft Excel, con el fin de hacer más eficiente el trabajo y disminuir la posibilidad de error.

5.1. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE LAS CALDERAS

La eficiencia de las calderas depende principalmente de la cantidad de vapor que produce con cierta cantidad de combustible, teniendo en cuenta el poder calorífico de éste o P.C.S⁹.

$$Eficiencia = \frac{energía\ útil}{energía\ combustible} * 100 \quad [1]$$

$$Energía\ útil = \frac{PV[kg/h] * (hg@170psia[kj/kg] - 4,18 * agua_{in}[^{\circ}C])}{3600} \quad [2]$$

$$Energía\ combustible = \frac{FC[kg/h] * P.C.S[kj/kg]}{3600} \quad [3]$$

⁹ P.C.S (Poder Calorífico Superior) El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.

Donde,

PV = *produccion de vapor*

$hg@170psia$ = *entalpia del vapor a presion 170psia*

$agua_{in}$ = *temperatura del agua a la entrada del sistema*

FC = *flujo combustible*

$P.C.S$ = *poder calorifico superior del combustible*

(Mesa, 2008)

5.1.1. Eficiencia de las calderas en la industria papelera estudiada

Los datos que se utilizaron para el cálculo de la eficiencia de las calderas en la industria papelera estudiada se presentan en la siguiente tabla. Como se mencionó anteriormente, esta industria cuenta con dos calderas, una acuotubular que genera vapor a partir de combustible sólido, carbón, y una caldera pirotubular que genera a partir de gas natural suministrado por red.

Los datos para realizar los cálculos de la eficiencia de las calderas son mediciones experimentales tomadas mediante instrumentos especiales que se tienen instalados en esta industria papelera. Para medir el flujo de vapor, se tienen instalados medidos de flujo para vapor a la salida de cada caldera, con el fin de controlar este flujo en la planta.

La temperatura del agua de entrada es medida con termocuplas instaladas en los tanques de almacenamiento, y la presión se mide con manómetros instalados a la salida del vapor de cada caldera. El flujo del combustible es medido para controlar la cantidad de combustible que ingresa a la caldera, este instrumento de medición hace parte de la instrumentación de la caldera.

Tabla 11. Datos para el cálculo de la eficiencia de las calderas.

DATOS				
	Carbón		Gas	
Capacidad	1700	BHP	500	BHP
Producción	10682	kg/h	5752	kg/h
Agua in	90	°C	90	°C
hg @ 170psia	2783,6	kJ/kg	2783,6	kJ/kg
P.C.S	26000	kJ/kg	44000	kJ/kg
Flujo combustible	1125,6	kg/h	365,3	m ³ /h

Aplicando las ecuaciones [1], [2] y [3], obtenemos los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 12. Eficiencia de las calderas en la industria papelera estudiada.

CÁLCULOS				
	Carbón		Gas	
Energía útil	7143,1	kw	3846,5	kw
Energía comb.	8129,5	kw	4465,1	kw
Eficiencia	87,9	%	86,1	%

La eficiencia de las calderas en la industria papelera estudiada está en un rango aceptable, ya que la caldera acuotubular obtuvo una eficiencia del 87,9% y la caldera pirotubular del 86,1%. Esta eficiencia esta dentro de los parámetros normales considerando el tiempo de operación que tienen estas calderas.

5.2. CÁLCULO DE LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO

Cuando el vapor entrega su energía útil, se produce condensado, el cual debemos evacuar de las líneas de vapor para evitar posibles problemas de corrosión o golpe de ariete, las cuales dañan las tuberías y pueden provocar paros correctivos

en los sistemas de vapor. Al evacuar el condensado de las líneas, lo podemos retornar a las calderas, siempre y cuando las condiciones lo permitan, obteniendo ahorros considerables en el consumo de combustible y en el tratamiento de las aguas de las calderas.

A continuación, se presentan las ecuaciones necesarias para calcular el ahorro de combustible, agua y dinero al retornar el condensado a las calderas. Los datos necesarios para realizar estos cálculos son flujo de vapor, condensado recuperable en porcentaje, eficiencia de la caldera, tiempo de operación del sistema de vapor, poder calorífico superior de los combustibles, costo del combustible, costo del agua tratada, densidad del agua, temperatura promedio del agua de reposición y del agua de condensado.

El condensado recuperable es la cantidad de vapor producido en un mes teniendo en cuenta la cantidad de condensado en porcentaje que recircula en el ciclo de vapor. Para determinar el porcentaje de condensado recuperado en una industria, se debe restar la cantidad de agua de reposición que consume la caldera a la cantidad de agua total que consume la caldera en un tiempo determinado, puede ser al día, al mes, o en el tiempo que se determine.

$$CR \left[\frac{kg}{h} \right] = VP \left[\frac{kg}{h} \right] * TO \left[\frac{h}{mes} \right] * \frac{PR}{100} \quad [4]$$

La energía recuperable en agua se determina con la relación entre el condensado recuperable y el tiempo de operación del sistema, multiplicado por el calor específico del agua y la diferencia de temperatura entre el condensado y el agua fresca o agua de reposición.

$$ERA \left[\frac{kJ}{mes} \right] = \left(\frac{CR \left[\frac{kg}{h} \right]}{TO \left[\frac{h}{mes} \right]} \right) * \left(4,18 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right] * (TC[^{\circ}C] - TAR[^{\circ}C]) \right) \quad [5]$$

La energía equivalente en combustible es la relación entre la energía recuperable en agua y la eficiencia de la caldera, hallada anteriormente.

$$EEC \left[\frac{kJ}{mes} \right] = \frac{ERA \left[\frac{kJ}{mes} \right]}{\left(\frac{Eficiencia}{100} \right)} \quad [6]$$

Para determinar el combustible ahorrado se debe dividir la energía del combustible por su poder calorífico superior, y se multiplica por el costo del combustible para determinar el ahorro de dinero en combustible.

$$CA \left[\frac{m^3}{mes} \right] = \frac{EEC \left[\frac{kJ}{mes} \right]}{P.C.S. [kJ/kg]} \quad [7]$$

$$CA \left[\frac{\$}{mes} \right] = CA \left[\frac{m^3}{mes} \right] * CC \left[\frac{\$}{m^3} \right] \quad [8]$$

Debemos determinar el condensado recuperable en m³/mes, para lo cual necesitamos la densidad del fluido, en este caso agua.

$$CR \left[\frac{m^3}{mes} \right] = \frac{CR \left[\frac{kg}{mes} \right]}{densidad \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \quad [9]$$

Con este flujo de agua podemos determinar el agua ahorrada al multiplicar este flujo con el costo del tratamiento del agua.

$$AAG \left[\frac{\$}{mes} \right] = CR \left[\frac{m^3}{mes} \right] * CAg \left[\frac{\$}{m^3} \right] \quad [10]$$

El ahorro total por mes se estima multiplicando el costo del combustible ahorrado y el costo del agua ahorrada al mes.

$$\frac{TOTAL}{AHORRADO} \left[\frac{\$}{mes} \right] = CA \left[\frac{\$}{mes} \right] * AAg \left[\frac{\$}{mes} \right] \quad [11]$$

Donde,

CR = condensado recuperable

VP = vapor producido

TO = tiempo de operación

PR = porcentaje recuperable

ERA = energía recuperable en agua

TC = temperatura condensado

TAR = temperatura agua reposicion

EEC = energía equivalente en combustible

CA = combustible ahorrado

CC = costo combustible

AAg = agua ahorrada

CAG = costo agua tratada

P.C.S = poder calorifico superior del combustible

(Mesa, 2008)

5.2.1. Total ahorrado en la recuperación de condensado en la industria papelera estudiada

Los datos necesarios para el cálculo de la recuperación de condensado en la industria papelera estudiada se resumen en la siguiente tabla. Para este caso también se hace el paralelo entre el carbón y el gas natural.

Igual que para el cálculo de la eficiencia de las calderas, los datos necesarios para la recuperación de condensado son experimentales. El porcentaje de recuperación de condensado se estimó restándole la cantidad de agua fresca que consume la caldera en 24 horas. Así, el agua consumida por la caldera es 314m³/día, de los cuales 80m³/día, corresponde al agua fresca, lo que significa que el condensado es un 75%.

Tabla 13. Datos para el cálculo de la recuperación de condensado.

DATOS				
	Carbón		Gas	
Flujo de vapor	10682	kg/h	5752	kg/h
Condensado recuperable	75	%	75	%
Eficiencia de caldera	87	%	86	%
Tiempo de operación	700	h/mes	700	h/mes
Poder Calorífico	26000	KJ/Kg	44000	KJ/Kg
Costo combustible	96,5	\$/kg	597,25	\$/m ³
Costo agua tratada	3283,73	\$/m ³	2886,12	\$/m ³
Densidad del agua	1000	kg/m ³	1000	kg/m ³
Temperatura promedio del condensado	90	°C	90	°C
Temperatura promedio agua reposición	25	°C	25	°C

Aplicando las ecuaciones [4] a la [11], tenemos los resultados descritos en la siguiente tabla, correspondientes a la industria papelera estudiada.

Tabla 14. Condensado recuperable en la industria papelera estudiada.

CÁLCULOS				
Costo en combustible	Carbón		Gas	
Condensado recuperable	$5,608050 \cdot 10^6$	kg/mes	$3,019800 \cdot 10^6$	kg/mes
Energía recuperable	$15,23707185 \cdot 10^8$	kJ/mes	$820,479660 \cdot 10^6$	kJ/mes
Energía equivalente en combustible	$17,51387569 \cdot 10^8$	kJ/mes	$954,046116 \cdot 10^6$	kJ/mes
Combustible ahorrado	67361,1	kg/mes	21682,9	m ³ /mes
Combustible ahorrado	\$ 6.500.342,3	\$/mes	\$ 12.950.091,9	\$/mes
Costo en agua				
Condensado recuperable	$5,608050 \cdot 10^6$	kg/mes	$3,019800 \cdot 10^6$	kg/mes
Condensado recuperable	5608,05	m ³ /mes	3019,8	m ³ /mes
Ahorro en agua	\$ 18.415.322,0	\$/mes	\$ 8.715.505,2	\$/mes
Total	\$ 24.915.664,3	\$/mes	\$ 21.665.597,1	\$/mes
Total Ahorro	\$ 46.581.261,4	\$/mes		

La industria papelera estudiada está obteniendo un ahorro mensual de \$46'581.262, con un 75% de recuperación de su condensado por medio de trampas de vapor instaladas en la red y con el sistema de zapatas que tienen los rodillos secadores en el tren de secado.

5.3. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS OCASIONADAS POR LAS FUGAS DE VAPOR Y CONDENSADO

Para aproximar las pérdidas que se tienen por un agujero de vapor o condensado, simplemente debemos conocer el diámetro de la fuga y su presión; y para determinar los costos de estas pérdidas debemos conocer el costo del combustible y el costo del tratamiento del agua, porque como se observó anteriormente, el agua de las calderas necesita un tratamiento para suavizarla y evitar problemas en las líneas de vapor y condensado.

A continuación se presentan las ecuaciones necesarias para conocer las pérdidas por fugas de vapor y condensado.

Para calcular las pérdidas por fugas, se debe estimar la presión de la fuga, la cual la sumamos por la presión atmosférica de la región donde se encuentra ubicada la industria para obtener la presión absoluta, y al dividirla por 14,504 obtenemos el valor en unidad [bar].

$$Presión\ absoluta[bar] = \frac{(PO[PSI]+Patm[PSI])}{14,504} \quad [12]$$

Para determinar la cantidad de agua que perdemos por una fuga, debemos multiplicar la presión absoluta de la fuga por el diámetro u orificio de la fuga por la una constante de 0,4. Este valor lo multiplicamos por el tiempo de operación del sistema en un tiempo determinado, puede ser un mes.

$$Fuga \left[\frac{kg}{h} \right] = 0,4 * (D^2[mm]) * Presión[bar] \quad [13]$$

$$Fuga \left[\frac{kg}{mes} \right] = Fuga \left[\frac{kg}{h} \right] * HO[h] \quad [14]$$

El flujo de agua que sale por el orificio se determina con la densidad del agua, haciendo una relación entre la masa de agua calculada en la ecuación [14] y la densidad del agua.

$$Fuga \left[\frac{m^3}{mes} \right] = \frac{Fuga \left[\frac{kg}{mes} \right]}{1000} \quad [15]$$

El costo del agua que se pierde en la fuga es la multiplicación del flujo de agua de la ecuación [15] con el costo del tratamiento del agua.

$$PAg \left[\frac{\$}{mes} \right] = Fuga \left[\frac{m^3}{mes} \right] * CAg \left[\frac{\$}{m^3} \right] \quad [16]$$

La pérdida de combustible se determina con el rendimiento de la caldera y el flujo de agua que sale por el orificio. El rendimiento de la caldera es el combustible necesario para producir una tonelada de vapor. Al multiplicar esta cantidad con el costo del combustible, obtenemos la pérdida de dinero en combustible por las fugas.

$$PC \left[\frac{kg}{mes} \right] = Fuga \left[\frac{m^3}{mes} \right] * RC \left[\frac{kg \text{ combust}}{Ton \text{ vapor}} \right] \quad [17]$$

$$PC \left[\frac{\$}{mes} \right] = PC \left[\frac{kg}{mes} \right] * CC \left[\frac{\$}{kg} \right] \quad [18]$$

La pérdida total ocasionada por fugas se determina con la pérdida de combustible y la pérdida del agua en un tiempo determinado.

$$\frac{TOTAL}{PERDIDAS} \left[\frac{\$}{mes} \right] = PC \left[\frac{\$}{mes} \right] * PAg \left[\frac{\$}{mes} \right] \quad [19]$$

Donde,

$PO = \text{presion orificio}$

$Patm = \text{presion atmosferica}$

$D = \text{diametro orificio}$

$HO = \text{horas operacion}$

$PAg = \text{perdida agua}$

$CAG = \text{costo agua tratada}$

$PC = \text{perdida combustible}$

$RC = \text{rendimiento calderas}$

$CC = \text{costo combustible}$

(Mesa, 2008)

5.3.1. Total pérdidas ocasionadas por fugas de vapor y condensado en la red en la industria papelera estudiada

En la siguiente tabla se muestran los datos necesarios para el cálculo de las pérdidas por fugas de vapor y condensado que se tienen en la planta. Para este análisis también se discrimina el costo con carbón y con gas natural.

Para determinar las pérdidas ocasionadas por las fugas de vapor y condensado en la red, se hacen mediciones experimentales, aproximando el diámetro de la fuga con un calibrador o pie de rey. La presión se determina con manómetros instalados en la línea de vapor y se toma el valor del manómetro más cercano a la fuga. La presión atmosférica corresponde a la altura de la región donde se encuentra ubicada la industria papelera estudiada.

Tabla 15. Datos para el cálculo de las pérdidas por fugas de vapor y condensado en las red.

DATOS				
	Carbón		Gas	
Rendimiento en caldera	107,1	Kg/ton vapor	64,6	m ³ /ton vapor
Horas de operación	700,0	h/mes	700,0	h/mes
Costo del combustible	96,5	\$/Kg	597,5	\$/m ³
Costo del agua tratada	3283,7	\$/m ³	2886,1	\$/m ³
Presión atmosférica	12,2	Psig	12,2	psig

Aplicando las ecuaciones [12] a la [19], obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 16. Cálculos de las pérdidas ocasionadas por fugas de vapor y condensado en la red.

CÁLCULOS										
Diámetro (mm)	Presión (psig)	Presión (bar- atm)	Fugas (kg/h)	Fugas (kg/mes)	Fugas (m ³ /mes)	Pérdida agua (\$/mes)	Pérdida carbón (Kg/mes)	Pérdida Carbón (\$/mes)	Pérdida gas (m ³ /mes)	Pérdida Gas (\$/mes)
2	140	10,5	16,8	11751,4	11,8	36952,9	818,1	78944	265,5	158632
1	140	10,5	4,2	2937,8	2,9	9238,2	204,5	19736	66,4	39658
1,5	140	10,5	9,4	6610,1	6,6	20786,0	460,2	44406	149,3	89230
0,8	45	3,9	1,0	706,5	0,7	2221,5	49,2	4746	16,0	9537
0,5	45	3,9	0,4	276,0	0,3	867,8	19,2	1854	6,2	3725
3	40	3,6	13,0	9066,0	9,1	28508,7	631,1	60904	204,8	122382
2	40	3,6	5,8	4029,3	4,0	12670,5	280,5	27069	91,0	54392
1,7	40	3,6	4,2	2911,2	2,9	9154,5	202,7	19557	65,8	39298
TOTAL			54,7	38288,3	38,3	\$ 120.400,2	2665,4	\$ 257.215,15	865,0	\$ 516.854,86

Tabla 17. Total pérdidas por fugas de vapor y condensado en la red en la industria estudiada.

Ahorro		
Combustible	\$ 774.070,01	\$/mes
Agua	\$ 120.400,19	\$/mes
TOTAL PÉRDIDAS	\$ 894.470,2	\$/mes
TOTAL PÉRDIDAS	\$ 10.733.642,4	\$/año

Las pérdidas que tiene la empresa papelera estudiada por fugas de vapor y condensado son aproximadamente \$894.470 por mes, lo que se traduce anualmente a \$10'733.643.

Es importante tener en cuenta que las estas pérdidas calculadas, corresponden a una ruta que se hizo en la empresa en un día aleatorio, y aunque se solucionen estas fugas, es necesario realizar un seguimiento periódico al sistema, ya que siempre van a aparecer nuevas fugas. Estas pérdidas corresponden a fugas en la red de vapor y condensado como uniones rotas, empaquetaduras vencidas, bridas malas, entre otras.

5.3.2. Total pérdidas ocasionadas por las trampas de vapor en la industria papelera estudiada

Las trampas de vapor son otro foco de pérdida de energía, ya que cuando éstas fallan, dejan escapar vapor a la red de condensado, por lo que se pierde la producción de vapor.

Los datos necesarios para el cálculo de las pérdidas ocasionadas por las trampas de vapor en el sistema, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18. Datos para el cálculo de las pérdidas por las trampas de vapor.

DATOS				
	Carbón		Gas	
Rendimiento en caldera	107,1	Kg/ton vapor	64,6	m ³ /ton vapor
Horas de operación	700,0	h/mes	700,0	h/mes
Costo del combustible	96,5	\$/Kg	597,5	\$/m ³
Costo del agua tratada	3283,7	\$/m ³	2886,1	\$/m ³
Presión atmosférica	12,2	psig	12,2	psig

La revisión del sistema de trampeo se hace en outsourcing, y se realiza mediante chequeo por ultrasonido. El cálculo de las pérdidas por las trampas de vapor se realiza de acuerdo al informe entregado por la empresa encargada de esta revisión.

En el informe entregado de las trampas de vapor, se estima el flujo que está escapando por la trampa de vapor. Este flujo de vapor se determina dependiendo el nivel de ruido detectado por el chequeo con ultrasonido. Dependiendo la presión a la que está trabajando la trampa y el nivel de ruido detectado, se determina el flujo de vapor que está ocasionando pérdida energética.

Como se mencionó anteriormente, las trampas también pueden tener falla abierta. Para determinar esta pérdida se tiene en cuenta la presión de la trampa y el diámetro de la fuga. A continuación, se presentan las pérdidas que tiene el sistema de vapor por las trampas en la industria papelera estudiada.

Tabla 19. Cálculos de las pérdidas ocasionadas por las trampas de vapor en la industria estudiada.

	CÁLCULOS							
	Fugas (kg/h)	Fugas (kg/mes)	Fugas (m³/mes)	Pérdida agua (\$/mes)	Pérdida Carbón (Kg/mes)	Pérdida Carbón (\$/mes)	Pérdida Gas (m³/mes)	Pérdida Gas (\$/mes)
	35,0	24500,0	24,5	77041,9	1705,6	164587	553,5	330726
	11,0	7700,0	7,7	24213,2	536,0	51727	174,0	103942
	24,0	16800,0	16,8	52828,7	1169,5	112860	379,6	226784
	11,0	7700,0	7,7	24213,2	536,0	51727	174,0	103942
	38,0	26600,0	26,6	83645,5	1851,8	178695	601,0	359074
	29,0	20300,0	20,3	63834,7	1413,2	136372	458,6	274030
	TOTAL	148,0	103600,0	103,6	\$ 325.777,1	7212,1	\$ 695.969,00	2340,6

Tabla 20. Total pérdidas por las trampas de vapor en la industria estudiada.

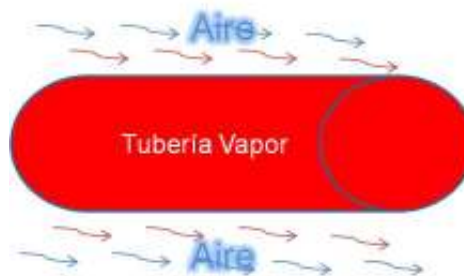
Ahorro		
Combustible	\$ 2.094.467,34	\$/mes
Agua	\$ 325.777,09	\$/mes
TOTAL PÉRDIDAS	\$ 2.420.244,4	\$/mes
TOTAL PÉRDIDAS	\$ 29.042.933,2	\$/año

Las pérdidas debido a las trampas de vapor malas en el sistema es aproximadamente \$29'042.934 anualmente. Para las trampas de vapor también es importante realizar una revisión periódica, para disminuir las fugas por este sistema de trampeo.

5.4. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR MALOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS

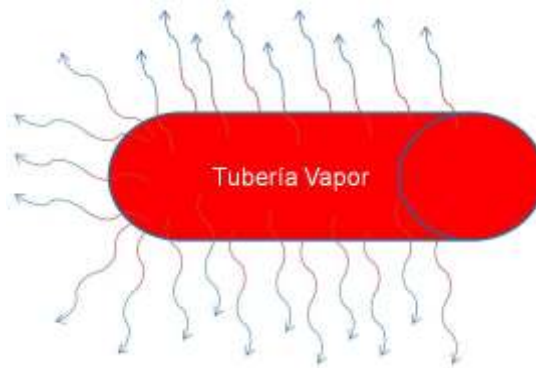
En las tuberías de distribución de vapor se tienen pérdidas por convección natural y por radiación. La convección natural se caracteriza por producirse por intermedio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. En el caso de las tuberías para vapor las pérdidas por convección natural corresponden al aire que circula alrededor de las tuberías.

Ilustración 50. Convección natural en tuberías para vapor.



Las pérdidas por radiación térmica o calórica corresponden a la energía emitida por un cuerpo debido a su temperatura. La ley de Stefan-Boltzmann da el total de energía emitida por unidad de tiempo y superficie emisora (esta energía depende de la cuarta potencia de la temperatura absoluta).

Ilustración 51. Radiación térmica en tuberías para vapor.



Para determinar el ahorro con los aislamientos térmicos en las tuberías de distribución del vapor es necesario tener en cuenta algunas propiedades del material de la tubería como la emisividad y la conductividad térmica, para nuestro caso del acero al carbón, las cuales son 0,8 y 0,3, respectivamente. También es necesario recordar la constante de Stephan Boltzman y el coeficiente de convección natural, para este caso entre el acero y el medio ambiente, o el aire (T.L.V)

Otros datos para el cálculo del ahorro con los aislamientos térmicos son los diámetros de la tubería que van a ser aisladas, la longitud, el poder calorífico del combustible, la temperatura superficial, la temperatura ambiente y estimar la temperatura a la cual debe quedar luego de aislada la tubería, como también el precio del combustible.

$$R_{\text{sin aislar}}[m] = \frac{D[\text{pulg}] * 0,0254}{2} \quad [20]$$

El área sin aislar se determina como el área de un cilindro ($2 * \pi * r * h$). Para este caso r es el radio sin aislar de la tubería y h es la longitud de la tubería sin aislar.

$$A_{\text{sin aislar}}[m^2] = R_{\text{sin aislar}}[m] * 2 * 3,1416 * LT[m] \quad [21]$$

La energía sin aislar es la energía que se está perdiendo al tener aislamientos térmicos malos en la tubería para vapor. Para determinar este valor es necesario tener en cuenta el coeficiente de convección entre la tubería y el medio ambiente o el aire, también la constante de Stephan Boltzman y la emisividad del material. La temperatura superficial es la temperatura a la que se encuentra la tubería.

$$E_{\sin \text{ aislar}}[W] = (h[w/m^2\text{°C}] * A_{\sin \text{ aislar}}[m^2] * (TS[\text{°C}] - Tamb[\text{°C}])) + (\theta[w/m^2K^4] * e * A_{\sin \text{ aislar}}[m^2] * (TS^4[\text{°C}] - Tamb^4[\text{°C}])) \quad [22]$$

El radio con aislamiento es determinar el radio necesario para aislar la tubería. Este radio depende del espesor del aislamiento, mientras el espesor sea más grande, mejor es el aislamiento, pero no se debe sobredimensionar debido al aumento del costo.

$$R_{\text{con aislamiento}}[m] = \left(\frac{D[pulg]}{2} + EA[pulg] \right) * 0,0254 \quad [23]$$

El área con aislamiento es determinar el área de la tubería aislada ($2*\pi*r*h$). Para este caso r es el radio con aislamiento de la tubería y h es la longitud de la tubería aislada.

$$A_{\text{con aislamiento}}[m^2] = R_{\text{con aislamiento}}[m] * 2 * 3,1416 * LT[m] \quad [24]$$

La energía con aislamiento es la energía ahorrada debido a los aislamientos térmicos. Para determinar este valor es necesario tener en cuenta el coeficiente de convección entre la tubería y el medio ambiente o el aire, también la constante de Stephan Boltzman y la emisividad del material. La temperatura sin aislar es la temperatura a la que se encuentra la tubería sin el aislamiento térmico y la temperatura con el aislamiento corresponde a la temperatura a la cual se estima quedará la tubería con el aislamiento térmico.

$$E_{con\ aislam}[W] = (h[w/m^2\text{°C}] * A_{con\ aislam}[m^2] * (T_{sin\ aislar}[^{\circ}\text{C}] - T_{amb}[^{\circ}\text{C}])) + (\theta[w/m^2K^4] * e * A_{con\ aislam}[m^2] * (T_{con\ aislam}^4[^{\circ}\text{C}] - T_{amb}^4[^{\circ}\text{C}])) \quad [25]$$

La energía ahorrada es la cantidad de energía que ahorro con los aislamientos térmicos. Es la diferencia entre la energía sin aislar y la energía aislada.

$$EAh[W] = E_{sin\ aislar}[W] - E_{con\ aislam}[W] \quad [26]$$

El dinero ahorrado en combustible es la cantidad de dinero que se ahorra la industria aislando las tuberías para vapor que no tienen aislamiento, y por ende provocar pérdida de energía.

$$DAhC \left[\frac{\$}{año} \right] = EAh[W] * 3600/1000/P.C.S * \frac{CC \left[\frac{\$}{kg} \right]}{(eficiencia/100)} * HO \left[\frac{h}{año} \right] \quad [27]$$

Donde,

$R_{sin\ aislar}$ = radio sin aislar

D = diametro

$A_{sin\ aislar}$ = area sin aislar

LT = longuitud tramo

$E_{sin\ aislar}$ = energia sin aislar

h = coeficiente de conveccion

TS = temperatura superficial

T_{amb} = temperatura ambiente

θ = constante de Stephan Bolzman

e = emisividad del material

$R_{con\ aislam}$ = radio con aislamiento

EA = espesor aislamiento

$A_{con\ aislam}$ = area con aislamiento

$E_{con\ aislam}$ = energia con aislamiento

$T_{sin\ aislar}$ = temperatura sin aislar

$T_{con\ aislam}$ = temperatura con aislamiento

EAh = energia ahorrada

CC = costo combustible

HO = horas operacion

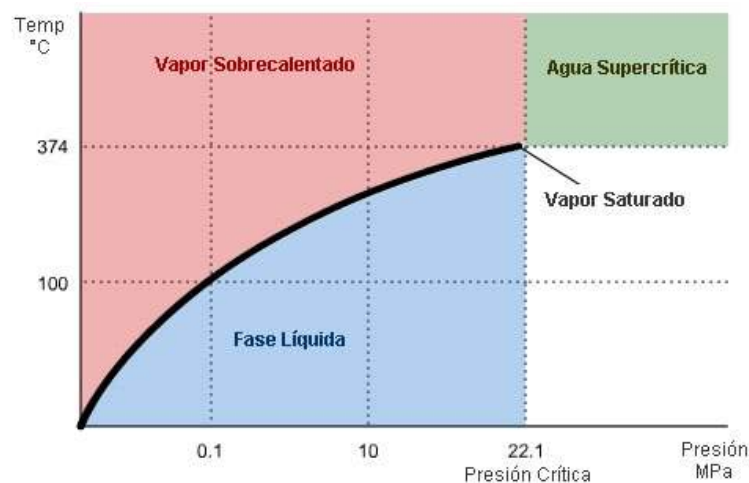
$DAhC$ = dinero ahorrado en combustible

(Mesa, 2008)

5.4.1. Total pérdidas ocasionadas por malos aislamientos térmicos en la industria papelera estudiada

En la industria estudiada el vapor está en estado saturado. El vapor en estado de saturación está compuesto tanto de agua en la fase líquida como de agua en la fase gaseosa. Este tiene muchas propiedades que lo hacen una excelente fuente de calor y por lo tanto es muy utilizado ampliamente como fuente de calor entre los 100 y 370°C.

Ilustración 52. Estados del vapor.



El vapor saturado es ampliamente usado como fuente de calor por las siguientes razones:

- Rápido, incluso es posible el calentamiento a través del calor latente
- La presión y la temperatura pueden ser establecidas con precisión
- Alto coeficiente de transferencia de calor

Dicho lo anterior, es necesario tener en cuenta lo siguiente cuando se calienta con vapor saturado:

- Las pérdidas de calor por radiación provocan que parte del vapor se condense, formando condensado, el cual tiene que ser retirado por medio de la instalación de trampas de vapor en las líneas que lo transportan.
- La eficiencia del calentamiento se ve afectada si se usa otro vapor en lugar del vapor extremadamente seco.
- Si la presión cae debido a pérdidas en la presión, provocadas por fricción en las tuberías, etc., es posible que la temperatura también caiga

En la siguiente tabla se muestran los datos necesarios para el cálculo del ahorro energético que se tiene en la industria papelera estudiada. Para este análisis también se discrimina el costo con carbón y con gas natural.

Tabla 21. Datos para el cálculo de las pérdidas ocasionadas por malos aislamientos térmicos.

DATOS				
Combustibles	Carbón		Gas	
Precio	119,0	\$/kg	985,7	\$/kg
	142,8	\$/m3	690,0	\$/m3
PCS	26000,0	Kj/kg	44000,0	Kj/kg
Eficiencia	87,0	%	86,0	%
Horas de operación	8400,0	h/año	8400,0	h/año

Aplicando las ecuaciones [20] a la [27], tenemos los resultados descritos en la siguiente tabla, correspondientes a las pérdidas ocasionadas por malos aislamientos en la industria papelera estudiada.

Tabla 22. Cálculo de las pérdidas ocasionadas por malos aislamientos térmicos.

TUBERIA	Tramo 1	Tramo 2	Niples_1	Niples_2	Accesorios	
Longitud de tubería	45	53	53	22	28	m
Diámetro (promedio)	4	4	4	4	4	pulg
Temperatura superficial	170	170	170	170	170	°C
Temperatura ambiente	33	33	33	33	33	°C
Emisividad	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	-
 AISLAMIENTO						
Espesor aislamiento	2	2	2	2	2	pulg
Conductividad Térmica	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	w/m °C
Emisividad	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	-
 GENERALES						
Coeficiente de convección	10	10	10	10	10	W/m2*°C
Constante Stephan Bolzman	5,67E-08	5,67E-08	5,67E-08	5,67E-08	5,67E-08	W/m2*K4

CÁLCULOS SIN AISLAR						
Radio sin aislar	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	0,0508	m
Área sin aislar	14,36	16,92	16,92	7,02	8,94	m2
Energía sin aislar	20221,2	23816,1	23816,1	9885,9	12582,1	W

CÁLCULOS AISLADO						
Radio con aislamiento	0,1016	0,1016	0,1016	0,1016	0,1016	m
Área con aislamiento	28,7	33,8	33,8	14,0	17,9	m2
Ecuación	-12815,9	-15094,3	-15094,3	-6265,6	-7974,4	-
Temperatura aislada	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	° C
Energía aislada	2012,7	3642,5	3642,5	1512,0	1924,3	W

AHORRO						
Energía ahorrada	18208,6	20173,6	20173,6	8374,0	10657,8	W
Dinero ahorrado gas	\$ 4.964.313,5	\$ 5.500.055,0	\$ 5.500.055,0	\$ 2.283.041,7	\$ 2.905.689,4	\$/año
Dinero ahorrado carbón	\$ 1.894.189,3	\$ 2.098.607,4	\$ 2.098.607,4	\$ 871.120,1	\$ 1.108.698,3	\$/año
TOTAL	\$ 6.858.502,7	\$ 7.598.662,4	\$ 7.598.662,4	\$ 3.154.161,8	\$ 4.014.387,7	\$/año
TOTAL PÉRDIDAS	\$ 29.224.377,0	\$/año				

Las pérdidas totales ocasionadas por malos aislamientos en la industria papelera estudiada son aproximadamente \$29'224.377 por año.

En la tabla cuando se hace referencia a “tramos”, se trata de longitudes de tubería mayores a un metro, y para efectos de manejo de la tabla, se sumaron varios tramos reparados en una misma fecha. Igualmente ocurre con los niples¹⁰, se sumaron varios para facilitar el manejo de la tabla. Los accesorios corresponden a codos, uniones en T, reducciones o tapas en la línea de vapor o condensado.

¹⁰ Niple: trozo de tubería para conectar tramos, accesorios, valvular, etc. en línea de tuberías. Pueden ser roscados o soldados.

La vida útil de los aislamientos térmicos es alta, pero depende del mantenimiento y cuidado que se les dé y del tipo de aislamiento que se tenga en las aplicaciones. Generalmente, los aislamientos térmicos se protegen con lámina de aluminio o acero inoxidable, la cual protege el aislamiento de las condiciones hostiles a las que se somete como la humedad, entre otros. Como se dijo anteriormente, existen aislamientos térmicos especializados para cada tipo de aplicación, incluso para ambientes húmedos.

5.5. CÁLCULO DE OTROS PUNTOS DE AHORRO ENERGÉTICO

La formación del papel necesita químicos que ayuden a unir las fibras, las cuales bajo ciertas condiciones conforman el papel. La preparación del químico que ayuda a unir las fibras de papel, necesita elevar la temperatura de la mezcla a 90°C en un tiempo determinado. Esta cocción, en la industria papelera estudiada, se realiza con vapor, mediante un serpentín en un tanque.

A continuación se estima el costo de esta preparación con el serpentín de vapor.

La mezcla con el químico necesita calentarse hasta una temperatura de 90°C en 1 hora, para asegurar las propiedades y evitar que se queme o se dañe la preparación, y de este modo ser utilizado en la formación de papel. En promedio se realizan 3 preparaciones del químico por turno (8 horas), lo que se traduce en 9 preparaciones cada 24 horas.

Tabla 23. Datos para el cálculo del consumo de vapor en la preparación del químico.

DATOS				
	Carbón		Gas	
Rendimiento en caldera	107,1	Kg/ton vapor	64,6	m ³ /ton vapor
Horas de operación	5,0	h/día	5,0	h/día
Costo del combustible	96,5	\$/Kg	597,5	\$/m ³
Costo del agua tratada	3283,7	\$/m ³	2886,1	\$/m ³
Presión atmosférica	12,2	psig	12,2	Psig

Aplicando las ecuaciones [12] a la [19], obtenemos los siguientes resultados:

El consumo de vapor es de 5967 lb/h, ya que el vapor circula por un serpentín de Ø=1in a una presión de 140psig.

Total consumo = \$ 569.297,4 por día

Total consumo = \$ 17.078.921,9 por mes

Teniendo en cuenta que el vapor utilizado en el serpentín vuelve a condensarse y retorna a la caldera, este condensado se le debe restar al consumo total. El vapor que condensa en el serpentín es aproximadamente 24.000kg/día.

Tabla 24. Consumo con el serpentín de vapor en la preparación del químico.

TOTAL CONSUMO	\$ 492.667,4	\$/día
TOTAL CONSUMO	\$ 14.780.021,9	\$/mes

Teniendo en cuenta que se realizan 9 preparaciones al día, cada preparación cuesta \$54.740.

Haciendo un mejor uso de la energía del vapor, se instaló un inyector o atomizador de vapor en el tanque de preparación del químico, eliminando la cocción por medio del serpentín. Al instalar este nuevo dispositivo se tienen los siguientes consumos en la misma preparación del químico con las mismas condiciones necesarias para su correcta utilización en la formación del papel.

El consumo con el inyector de vapor es de 3223 lb/h, ya que el vapor se inyecta al tanque por medio del nuevo dispositivo a una presión de 70psig y un $\varnothing=1$ in.

Tabla 25. Consumo con el inyector de vapor en la preparación del químico.

TOTAL CONSUMO	\$ 307.431,1	\$/día
TOTAL CONSUMO	\$ 9.222.932,0	\$/mes

Teniendo en cuenta que se realizan 9 preparaciones al día, cada preparación cuesta \$34.159.

La diferencia entre el consumo de vapor con el inyector y con el serpentín en cada preparación es de \$29.096, teniendo un ahorro diario de \$185.236. Mensualmente la industria papelera estudiada se ahorra aproximadamente \$5'557.089.

5.6. RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN LA INDUSTRIA PAPELERA ESTUDIADA

A continuación se presenta en una tabla el resumen de los ahorros económicos que puede tener la industria estudiada por recuperación de condensado, disminución de las fugas de vapor y condensado en la red y en las trampas de vapor, reemplazo de malos aislamientos térmicos y mejora en el consumo de algunos procesos.

Tabla 26. Ahorros económicos.

Ítem	Dinero ahorrado [\$/mes]	Porcentaje total [%]
Recuperación de condensado	\$ 46.581.261	80%
Disminución de fugas en la red	\$ 894.470	2%
Disminución y reparación de trampas de vapor	\$ 2.420.244	4%
Reemplazo de aislamientos térmicos malos	\$ 2.435.365	4%
Mejora en los procesos	\$ 5.557.089	10%
Total	\$ 57.888.429	100%



En la grafica observamos que la recuperación de condensado representa un total del 80% del ahorro energético de la industria papelera estudiada. Hay que tener en cuenta que el 4% de las fugas en las trampas, también es un ítem de ahorro que pertenece a la recuperación de condensado, ya que separa el condensado del vapor vivo, según lo visto anteriormente.

La actualización y revisión de los procesos, son puntos que se deben estar evaluando constantemente, ya que como se indica en la gráfica pueden representar un importante ahorro energético. Para el caso de la industria estudiada, la actualización del proceso de calentamiento de un producto químico tuvo un ahorro total del 10%.

Aunque las fugas en la red solo representan el 2% del total del ahorro energético, no se debe descuidar este ítem, ya que las fugas de vapor aumentan su magnitud hasta el punto de producir una parada no programada en los procesos.

Los aislamientos térmicos representaron un ahorro del 4% en la industria estudiada, además de la seguridad que proporcionan estos elementos a los operarios y personal que tenga contacto con las tuberías o líneas de vapor.

6. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LOS PUNTOS IDENTIFICADOS COMO AHORRO ENERGÉTICO

La evaluación técnico-económica corresponde a justificar financiera o económicamente las inversiones necesarias que se deben realizar para solucionar las pérdidas energéticas que se tienen en alguna industria.

Para el caso particular de la industria papelera que se está analizando se encontraron los siguientes resultados, divididos en las fugas de vapor y condensado en la red, fugas en el sistema de trampeo y aislamientos térmicos.

6.1. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS FUGAS EN LA RED DE VAPOR Y CONDENSADO

Las fugas encontradas en la revisión a la red de vapor y condensado, estiman unas pérdidas anuales de \$10.733.642 ocasionadas por pérdidas de vapor y condensado. A continuación se describen en la tabla los materiales necesarios y su costo comercial aproximado para solucionar estas fugas:

Tabla 27. Materiales y costos para disminuir las fugas en el red del sistema de vapor y condensado.

Material	Precio
Manguera para vapor/condensado	\$300.000
Brida para tubería de vapor Ø3in	\$61.480
Brida para tubería de vapor Ø6in	\$107.880
Empaquetadura para brida.	\$100.000
Válvula para vapor Ø1in	\$290.000
Válvula para vapor Ø3in	\$408.320
Soldadura	\$100.000
Mano de obra (6 horas)	\$206.000
Total	\$1'473.680

(Apolo - Accesorios y valvulas)

Teniendo una inversión de \$1'473.680 y unas pérdidas de \$10.733.642 anuales, tenemos

$$\frac{\text{Retorno}}{\text{Inversion}} = \frac{\$1'473.680}{\$10.733.642} \times 12 \text{ meses} = 1,6 \text{ meses}$$

El tiempo aproximado de recuperación de la inversión para disminuir las fugas presentes en esa rutina es de 1,6 meses

6.2. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS FUGAS EN EL SISTEMA DE TRAMPEO

Las pérdidas anuales por trampas de vapor malas son aproximadamente \$29'042.934. A continuación se presentan los materiales necesarios para solucionar estas fugas o el reemplazo de las trampas.

Tabla 28. Materiales para disminuir las fugas en el sistema de trampeo

Material	Cantidad	Precio unitario	Total
Trampa de balde invertido, ref. 811, Ø1/2", 80psig	1	\$418.000	\$418.000
Trampa de balde invertido, ref. 811, Ø3/4", 80psig	4	\$418.000	\$1'672.000
Trampa de balde invertido, ref. 811, Ø1/4", 80psig	1	\$418.000	\$418.000
Trampa de balde invertido, ref. 880, Ø1/2", 80psig	1	\$360.000	\$360.000
Trampa de balde invertido, ref. 214, Ø1", 180psig	1	\$1'370.000	\$1'370.000
Kit para trampa, ref. 811, 7/64"	1	\$187.000	\$187.000
Trampa de balde invertido, ref. 811, Ø1/2", 150psig	2	\$418.000	\$836.000
Mano de obra (6 horas)			\$206.000
TOTAL (IVA incluido)			\$6'308.760

*La cotización completa de las trampas de vapor se presenta como anexo.

Con una inversión de \$6'308.760 y unas pérdidas de \$29'042.934 anuales, tenemos

$$\frac{\text{Retorno}}{\text{Inversión}} = \frac{\$6'308.760}{\$29'042.934} * 12 \text{ meses} = 2,6 \text{ meses}$$

El tiempo aproximado de recuperación de la inversión para disminuir las fugas presentes en esa rutina es de 2,6 meses.

6.3. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS

Los cálculos de los aislamientos térmicos dieron como resultado unas pérdidas por \$29'224.377 anualmente. En la siguiente tabla se resumen los materiales con los cuales se disminuyen las pérdidas de energía debido a los aislamientos térmicos malos encontrados en la industria estudiada.

Tabla 29. Materiales necesarios para disminuir las pérdidas ocasionadas por los aislamientos térmicos malos.

Material	Cantidad	Precio unitario	Total
Tramo 1	45 m	\$57,147	\$2'571.615
Tramo 2	53 m	\$57,147	\$3'028.791
Niples 1	53 m	\$22.113	\$1'171.989
Niples 2	22 m	\$22.113	\$486.486
Accesorios	28 m	\$25.000	\$700.000
		TOTAL (IVA incluido)	\$7'958.881

*Las cotizaciones completas de los aislamientos térmicos se presenta como anexo. En la cotización se incluyen otros accesorios que no se tienen en cuenta en esta tabla.

Con una inversión de \$7'958.881 y unas pérdidas de \$29'224.377 anuales, tenemos

$$\frac{\text{Retorno}}{\text{Inversion}} = \frac{\$7'958.881}{\$29'224.377} * 12\text{meses} = 3,26 \text{ meses}$$

El tiempo aproximado de recuperación de la inversión de los aislamientos térmicos es de 3,26 meses.

6.4. EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE OTROS PUNTOS DE AHORRO ENERGÉTICO

El ahorro diario que se tiene con la instalación del nuevo dispositivo para la preparación del químico es de \$185.236. A continuación se presentan los gastos que tiene la instalación del inyector de vapor.

Tabla 30. Materiales para la instalación del inyector de vapor.

Material	Precio
Inyector de vapor	\$1'600.000
Válvula autorreguladora	\$2'280.000
Accesorios para el montaje	\$800.000
Mano de obra (4 horas)	\$137.334
Total	\$4'817.334

*Las cotizaciones de los materiales se presentan como anexo

Con una inversión de \$4'817.334 y un ahorro de \$185.236 diario, tenemos

$$\frac{\text{Retorno}}{\text{Inversion}} = \frac{\$4'817.334}{\$185.236} = 26 \text{ dias}$$

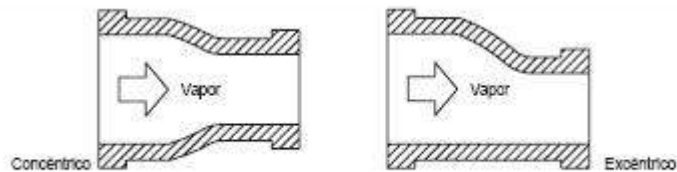
El tiempo aproximado de recuperación de la inversión del inyector de vapor para la preparación del químico en la formación del papel es en 26 días.

7. RECOMENDACIONES

Desde un principio se debe comprender el circuito básico del sistema de vapor, para poder realizar modificaciones, montajes y correcciones del sistema sin tener futuros problemas en la distribución de vapor y condensado. A continuación se presentan las recomendaciones básicas a tener en cuenta cuando se realicen montajes o instalaciones en el sistema de vapor.

En los sistemas de vapor las reducciones deben ser excéntricas para evitar la acumulación de condensado en las líneas y dejar que el fluya el vapor a lo largo del sistema (Armstrong International, 1998) (Spirax Sarco, 2008).

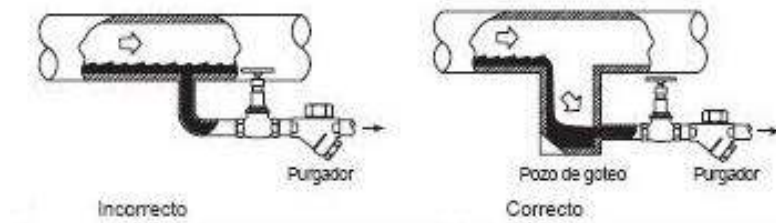
Ilustración 53. Reducción concéntrica y excéntrica.



(Spirax Sarco, 2008)

El condensado debe ser evacuado de las líneas para evitar los problemas que esto conlleva. En la siguiente ilustración se muestra la mejor manera de evacuar el condensado. Se debe instalar un pozo de goteo, donde se acumula todo el condensado, la línea con el purgador se debe instalar 30cm aproximadamente por encima de la base del pozo de goteo, para evitar que la suciedad pase al purgador y lo bloquee. La base del pozo de goteo debe ser desmontable para eliminar la suciedad acumulada durante una parada del sistema.

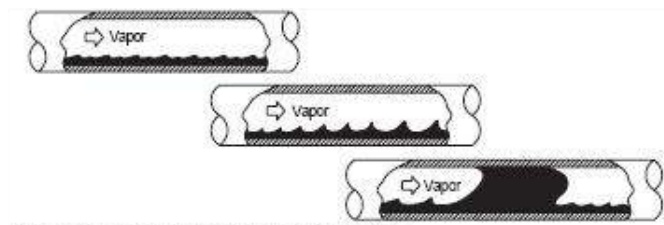
Ilustración 54. Evacuación correcta del condensado.



(Spirax Sarco, 2008)

En todas las líneas de vapor se debe disminuir la posibilidad de golpe de ariete, ocasionado por la acumulación de condensado en estas líneas. A continuación se muestra donde se puede acumular el condensado y sus efectos en los sistemas de vapor.

Ilustración 55. Formación de bolsa solida de agua.

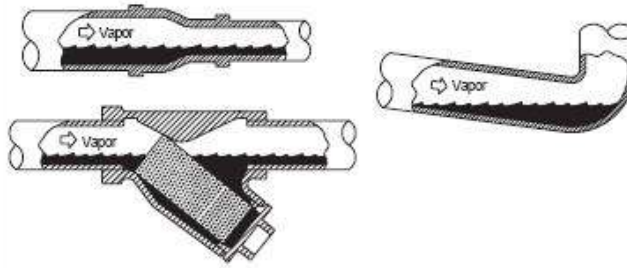


(Spirax Sarco, 2008)

Las gotas de condensado en las líneas, forman una bolsa solida de agua con el tiempo que es arrastrada por el vapor a gran velocidad. Esta bolsa es densa e incompresible y lleva una energía cinética considerable para este tipo de sistemas.

En la siguiente ilustración se muestran otros puntos potenciales de acumulación de condensado, que producen golpe de ariete en los sistemas de vapor.

Ilustración 56. Puntos potenciales de formación de golpe de ariete.



(Spirax Sarco, 2008)

La consecuencia más común con el golpe de ariete es la explosión de las líneas de vapor, lo que daña accesorios como codos, filtros, entre otros. En la siguiente ilustración se presenta un filtro en corte, el cual debido a una explosión por golpe de ariete, dañó la malla interna, por lo que el filtro queda inutilizable.

Ilustración 57. Filtro malo debido al golpe de ariete.

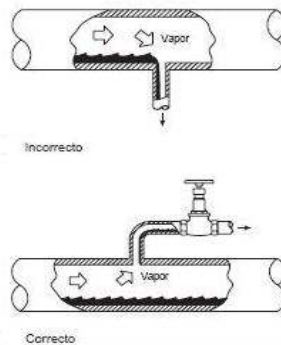


(Seditesa)

Las derivaciones de vapor siempre son más cortas y de diámetro menor que la línea principal. Las derivaciones deben transportar vapor seco, así que una derivación siempre debe conectarse de la parte superior de la línea principal de distribución de vapor. Si por el contrario, la derivación se conecta de la parte

lateral o de la parte inferior de la línea de distribución, el vapor entregado es húmedo, lo que afecta los equipos de vapor. Se recomienda instalar una válvula de bloqueo tan cerca como sea posible de la derivación, para evitar que el condensado se acumule en la derivación en las paradas de mantenimiento.

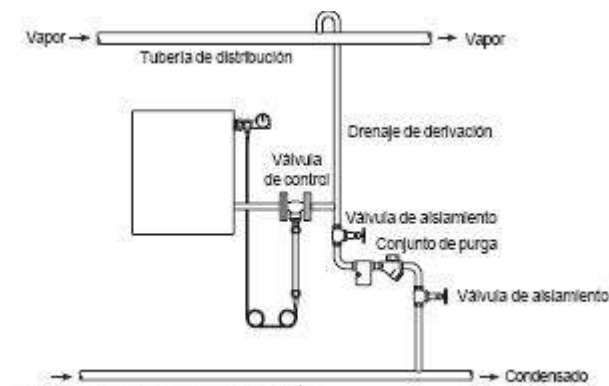
Ilustración 58. Derivación de las líneas de vapor.



(Spirax Sarco, 2008)

Las derivaciones de la línea principal de vapor también deben drenarse, para garantizar un vapor lo más seco posible en los equipos de vapor, evitando también el golpe de ariete.

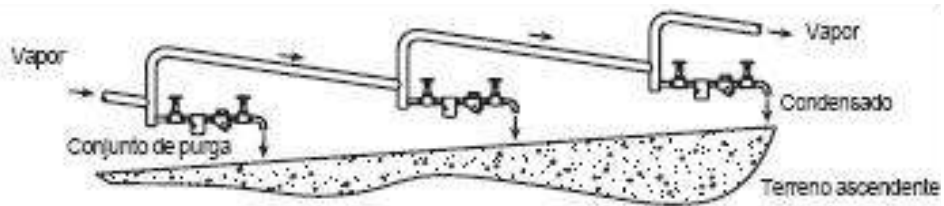
Ilustración 59. Drenaje de las derivaciones de vapor.



(Spirax Sarco, 2008)

Es común que las líneas de vapor atraviesen terrenos inclinados donde no es posible mantener el nivel de la línea de vapor. Cuando esto ocurre, se debe reducir el espacio entre los puntos de drenaje con sus respectivos pozos de goteo a 15m aproximadamente y no 30m como es común.

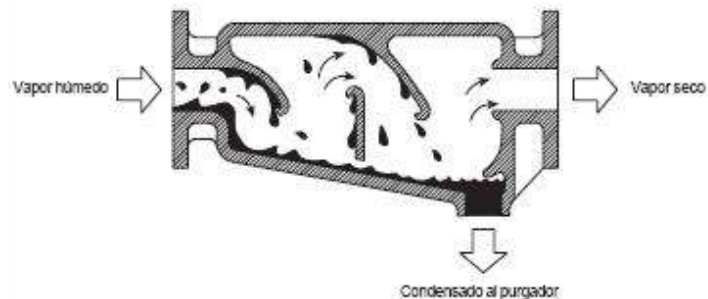
Ilustración 60. Drenaje de líneas de vapor en un terreno ascendente.



(Spirax Sarco, 2008)

Cuando el vapor es generado en las calderas, inmediatamente al ser transportado comienza a condensarse. Es recomendable instalar separadores de vapor en las líneas de vapor a la salida de las calderas y en puntos críticos o antes de equipos que requieran vapor seco. Los separadores de vapor disminuyen la humedad del vapor, ya que retira las gotas y el condensado en las tuberías que transportan vapor. En la siguiente ilustración se muestra en sección el funcionamiento de un separador de vapor.

Ilustración 61. Funcionamiento de un separador de vapor en sección.



(Spirax Sarco, 2008)

La dilatación en las tuberías de vapor, no es factor que se debe pasar por alto, ya que toda línea de vapor se instala a temperatura ambiente y cuando se transporta un fluido con una temperatura mayor, en este caso vapor a más de 100°C, crea expansiones en las líneas, especialmente en longitud. Estas expansiones en las líneas, pueden provocar tensiones tan altas en las juntas hasta el punto de romperse. Estas dilataciones en las líneas de distribución deben calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Dilatacion = L * \Delta_t * \alpha \text{ [mm]}$$

Donde,

L = longitud tubería entre anclajes [m]

Δ_t = diferencia de temperatura [°C]

α = coeficiente de dilatación [mm/m °C] * 10³

(Spirax Sarco, 2008)

En la siguiente tabla se presentan los coeficientes de dilatación dependiendo de la temperatura y el material de las líneas de distribución.

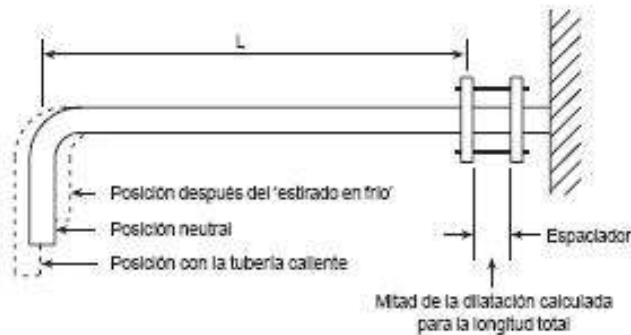
Tabla 31. Coeficientes de dilatación (α).

Material	Rango de temperatura °C							
	< 0	0 - 100	0 - 200	0 - 315	0 - 400	0 - 485	0 - 600	0 - 700
Acero suave 0,1-0,2 % C	12,8	14,0	15,0	15,6	16,2	17,8	17,5	-
Acero aleado 1 % Cr 0,5 % Mo	13,8	14,4	15,1	15,8	16,6	17,3	17,6	-
Acero inoxidable 18 % Cr 8 % Ni	9,4	20,0	20,9	21,2	21,8	22,3	22,7	23,0

(Spirax Sarco, 2008)

Las tuberías deben ser montadas con un espaciador, el cual da flexibilidad al sistema, permitiendo a la tubería un movimiento, el cual varía en caliente, o en frío cuando se hacen paradas del sistema.

Ilustración 62. Separador de dilatación en montaje de tuberías de vapor

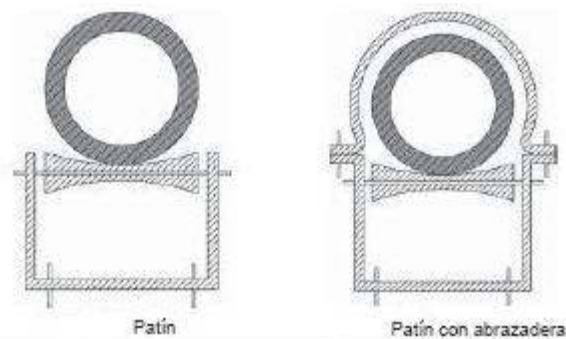


(Spirax Sarco, 2008)

Los soportes en las líneas de distribución de vapor deben absorber estas dilataciones. A continuación se presentan los métodos más utilizados para absorber las expansiones en las líneas de vapor.

El soporte tipo patín, es el mejor método para soportes de tubería en caliente, ya que permite movimiento en dos direcciones. Se recomienda montar una abrazadera alrededor de la tubería con el fin de mantenerla alineada mientras se dilata o contrae. No se recomienda montar una tubería sobre otra mediante abrazaderas, ya que esto provoca tensiones extra en la tubería superior.

Ilustración 63. Soportes tipo patín.

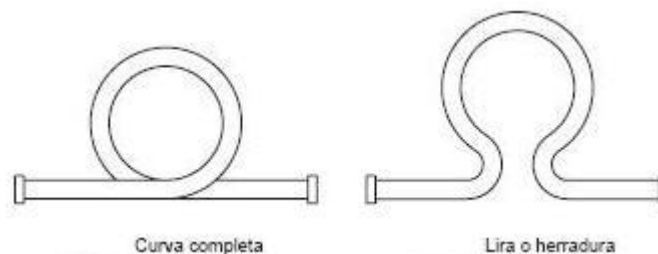


(Spirax Sarco, 2008)

Las tuberías de distribución tienen un límite de expansión, por lo que se deben montar accesorios de dilatación como: curva completa, lira o herradura, curva de dilatación en “U”, junta deslizante, fuelles, entre otros.

La curva completa es una vuelta completa de la tubería la cual al dilatarse no produce una fuerza opuesta a la dilatación de la tubería. Sebe montar de manera horizontal para evitar la acumulación de condensado. La lira o herradura no tiende a abrir los extremos cuando hay presión en las líneas, pero hay un efecto de tensión hacia el exterior debido al diseño, pero la cual no causa desalineación en las bridas.

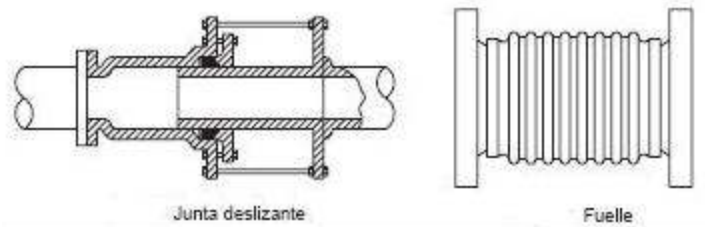
Ilustración 64. Curva completa y lira o herradura.



(Spirax Sarco, 2008)

Las juntas deslizantes se montan debido al reducido espacio que ocupan, pero necesariamente la tubería debe estar rígidamente anclada y guiada, o de lo contrario el vapor ejercerá una presión adicional en el casquillo, lo que causa un constante mantenimiento del prensaestopas. El fuelle presenta una ventaja frente a los demás accesorios de dilatación, ya que no necesita empaquetadura. Pero también necesita, como en la junta deslizante, garantizar un anclaje rígido y guías que soporten las fuerzas de dilatación.

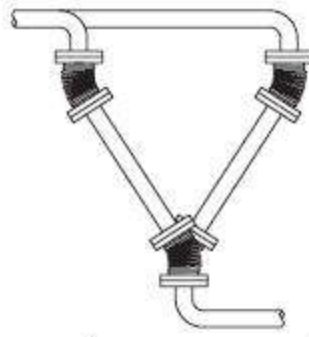
Ilustración 65. Junta deslizante y fuelle.



(Spirax Sarco, 2008)

A continuación se presenta una ilustración que muestra la importancia del montaje de accesorios de dilatación en las líneas de distribución de vapor.

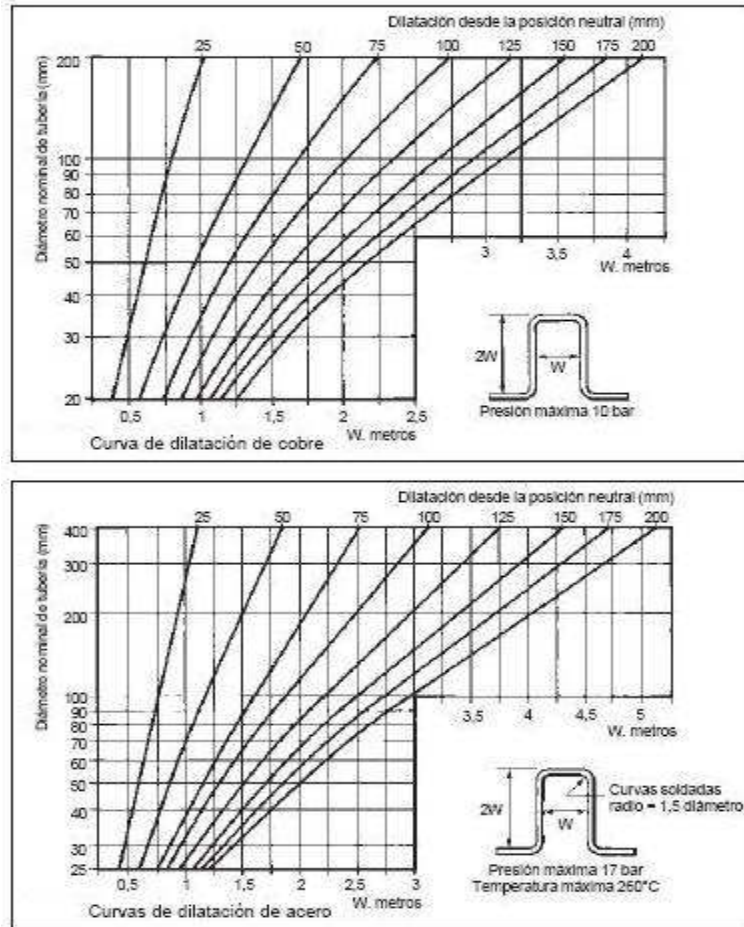
Ilustración 66. Disposición de accesorios de dilatación.



(Spirax Sarco, 2008)

Las curvas de dilatación en “U” son las más utilizadas en la industria debido a su fácil instalación, ya que pueden ser montadas con codos soldados y tramos rectos de tubería. Los valores de expansión se presentan en la siguiente grafica, para tuberías en cobre y acero. Dependiendo el tramo recto de la curva de dilatación y el diámetro de la tubería, se determina la expansión del material. Cuando la curva se dispone en forma vertical, se debe instalar un punto de purga que evacue todo el condensado de la línea.

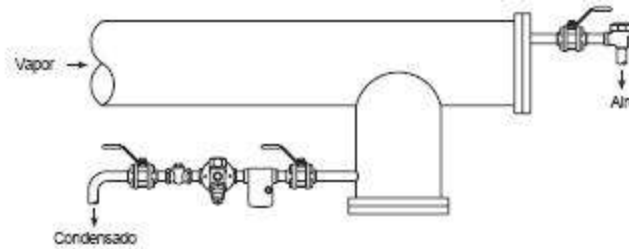
Ilustración 67. Valores de expansión según el material.



(Spirax Sarco, 2008)

Es importante instalar eliminadores de aire en las líneas de vapor, ya que cuando se realizan paradas del sistema, las tuberías se llenan de aire. El aire en las líneas de vapor produce una disminución del rendimiento del sistema, ya que el calentamiento del sistema de vapor se convierte en un proceso largo.

Ilustración 68. Purga y eliminación de aire en las líneas de vapor.



(Spirax Sarco, 2008)

Se recomienda montar los eliminadores de aire al final de las líneas de vapor y en los distribuidores de vapor, ya que es donde se concentra el aire y los gases no condensables que deben ser eliminados por los purgadores de aire. Los eliminadores de aire automáticos para sistemas de vapor, son simplemente purgadores de vapor termostático, montado en la parte superior de las líneas como se muestra en la figura anterior.

El efecto más importante que tiene el aire en los sistemas de vapor es en la transferencia de calor, ya que una capa de aire de 1 micra de espesor, ejerce una resistencia al paso de calor tanto como una capa de agua de 25 micras, lo que puede causar una caída de calor entre el 7% al 15%.

Se recomienda al personal de la empresa una revisión permanente de linealidad en las redes de distribución, un chequeo de los empaques, accesorios y soldaduras del sistema de vapor. Es importante tener personal capacitado en montajes de sistemas de vapor para que verifiquen el material de los empaques, linealidad de las redes, forma en que se van a realizar los montajes, tener en cuenta la forma de apriete de los tornillos (en cruz) y el material que se va a utilizar en los montajes de vapor, garantizando así la seguridad y evitando problemas posteriores en estos sistemas (Mesa, 2008) (Lopez, 2010) (Seditesa) (Velez, 2010) (Turner, 2007) (Spirax Sarco, 2008) (Spirax Sarco, 1998) (Spirax Sarco, 1999).

8. CONCLUSIONES

Los puntos de ahorro energético identificados como posibles focos de ahorro energético, bajo el programa de UREE en la industria papelera estudiada son: fugas de vapor y condensado en las líneas de distribución, fugas de vapor en las trampas, aislamientos térmicos malos y recuperación de condensado.

Se debe tener un programa de mantenimiento predictivo o planeado para poder detectar fácilmente las fugas de vapor. Igualmente, las trampas de vapor tienen su vida útil, además si no se seleccionan de manera adecuada, se pierde vapor y no se recupera condensado. Antes de seleccionar una trampa se debe tener en cuenta la presión de trabajo y la capacidad de descarga de condensado dependiendo la longitud del tramo que se está purgando.

Los aislamientos térmicos son un factor importante dentro de un sistema de vapor, debido a que contribuyen a un ahorro energético y evita accidentes por quemaduras. Se debe revisar el estado de los aislamientos térmicos mínimo una vez al año, con el fin de mantenerlos en buen estado en todo el sistema de vapor.

Calcular las pérdidas económicas que tiene el sistema de vapor en la industria papelera estudiada y en general en cualquier industria, es muy importante ya que se hace conciencia de los costos que implica no tener este sistema de manera adecuada y, aunque no parezca, todo lo que representa cualquier tipo de fuga o escape en este sistema.

La eficiencia de la caldera acuotubular y pirotubular se encuentran en un rango aceptable, 87,9% y 86,1 respectivamente. En cuanto a la recuperación de condensado, la industria papelera estudiada se está ahorrando un total de \$46'581.261 por mes. Esto representa una recuperación de condensado del 75%,

una cifra bastante buena, porque en todo sistema hay pérdidas y gases no condensables, los cuales no se pueden recuperar y retornar al ciclo.

Las pérdidas estimadas ocasionadas por fugas de vapor y condensado en la industria papelera estudiada ascienden a \$10'733.642 por año, lo que represente unas pérdidas importantes no solo económica sino también energéticamente. Por tal motivo es de vital importancia realizar constantes rutas de chequeo y corrección de fugas que apunten a disminuir éstas pérdidas.

Las trampas de vapor son instrumentos de vital importancia en los sistemas de vapor, ya que no solo evacuan el condensado de las tuberías sino que evitan problemas de corrosión y golpe de ariete. Las pérdidas económicas debido a trampas de vapor malas encontradas en una ruta de chequeo son aproximadamente \$29'042.933 por año, una cifra bastante alta, lo que significa que se debe prestar más atención a estos instrumentos que evitan varios problemas en las líneas de distribución de vapor. De igual forma el reemplazo de algunos aislamientos térmicos malos encontrados en la industria papelera estudiada, estiman un ahorro aproximado de \$29'224.377 por año. Para la preparación de un químico que se calentaba mediante un serpentín de vapor, se halló un sistema más eficiente y con mayor aprovechamiento del vapor, llamado inyector o atomizador de vapor, lo que representa un ahorro aproximado de \$5'557.089 mensual solo en este equipo.

La evaluación técnico-económica es simplemente justificar las inversiones necesarias para corregir las fugas, los aislamientos malos, reemplazar trampas malas o simplemente para invertir en mejor tecnología que contribuya a un ahorro energético y por ende al cuidado del medio ambiente. En el caso de las fugas de vapor y condensado encontradas en la industria estudiada, corregirlas representa una inversión aproximada de \$1'473.680 y un tiempo de recuperación de la inversión de 1,6 meses.

Las trampas de vapor están generando grandes pérdidas en la industria, reemplazarlas o repararlas tiene un costo aproximado de \$6'308.760 y una recuperación de la inversión de $2,6 \approx 3$ meses. Un tiempo de retorno muy bueno, no solo por que se recupera la inversión rápidamente, sino porque se evacua correctamente el condensado de las líneas y evitando los problemas de corrosión y golpe de ariete. La inversión para el reemplazo de los aislamientos térmicos malos encontrados es aproximadamente \$7'958.881 con una recuperación de $3,26 \approx 4$ meses. La recuperación de la inversión es buena, teniendo en cuenta que la vida útil de los aislamientos térmicos es alta dependiendo de su mantenimiento y cuidado.

La inversión del inyector o atomizador de vapor fue aproximadamente \$4'817.334, pero considerando un ahorro del 37,5% en el consumo de vapor y una recuperación de 26 días aproximadamente, teniendo en cuenta como condición preparar 9 mezclas del producto químico por día. Es importante tener en cuenta que la evaluación técnico-económica es una herramienta que facilita la justificación financiera de las inversiones necesarias para corregir las pérdidas. Igualmente, no solo se deben corregir las pérdidas por el factor financiero, sino ser conscientes de hacer un uso adecuado de los recursos energéticos.

Las recomendaciones que se hacen en la presente investigación son normas básicas que se deben tener en cuenta a la hora de realizar montajes en sistemas de vapor, como también para hacer mejoras en un sistema que no esté en las mejores condiciones de trabajo. Las fugas, los aislamientos térmicos y las trampas de vapor representan mucho para la empresa, ya que constituyen un foco de pérdida energética y por ende en los costos de operación, riesgos en la seguridad industrial, paros no programados de planta, retrasos en el proceso, entre otros elementos que justifican la implementación de un programa como el UREE con el fin de disminuir estas pérdidas y contribuir al cuidado del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

Apolo - Accesorios y valvulas Lista de precios [Online]. - Septiembre 2010. - http://www.coval.com.co/pdfs/listasprecios/ult_hierro_fundido.pdf.

Armstrong International Inc. Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados - Manual [Online] = Manual N-101S 5M 7/98. - Armstrong International, Inc., 1998. - Enero 18, 2010. - <http://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/n101spanish.pdf>.

Armstrong Trampas de vapor. - 1997.

Barriga Phd. Alfredo Auditoría energética de un sistema de vapor [Conference]. - 2008.

Botta Nestor Adolfo Red Proteger [Online] // Red Proteger. - Octubre 01, 2009. - http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm.

Cengel Yunus and Michael Boles Termodinamica [Book]. - Mexico D.F : Mc Graw Hill, 2002.

Centro de estudios de la energia Manuales tecnicos y de instruccion para conservacion de energia // Redes de distribucion de fluidos termicos. - Barcelona : [s.n.], 1990.

Centro de estudios de la energia Manuales tecnicos y de instruccion para conservacion de energia // Generacion de vapor. - Barcelona : [s.n.], 1990.

Chejne Janna Farid and Betancour Hill Allan Proceso de la combustion y metodologia para realizacion de balances de masa y energia de algunos procesos [Book]. - Medellin : U.P.B, 1992.

Convenio UPME - MEN Introduccion de la tematica de energia y su uso racional en el programa educativo medio ambiente en Colombia [Online]. - 01 24, 2010.

Direccion de enlace y programas regionales Tipos de trampas de vapor. - Mexico D.F. : conae.

Emisora del Sol Emisora del Sol [Online] // Con el cambio de hora, arranca el plan de uso racional de la energia. - Diciembre 28, 2007. - Marzo 13, 2010. - <http://www.fmdelsol.com.ar/index.php?name=News&file=article&sid=4734&theme=Printer>.

FiberGlass Colombia Notas tecnicas [Online] = Division: aislamientos. - FiberGlass Colombia, Febrero 1999. - Numero 34. - Septiembre 2010.

Gerdipac Industrial Catalogo de productos aislantes [Online] = Lana mineral de roca. - Septiembre 2010. - www.gerdipac.com.pe.

Gerdipac Industrial Catalogo de productos aislantes = Silicato de Calcio. - Peru : [s.n.].

Gutierrez Juan Ignacio Calderas para generar vapor - Operacion y Mantenimiento [Conference]. - Medellin : [s.n.], 2009.

Gutierrez Juan Ignacio Mantenimiento y Cuidados de la Caldera [Conference] // Presentacion Calderas. - Medellin : [s.n.], 2009.

Lopez Juan David Cano Ingeniero Mecanico [Interview]. - Barbosa : [s.n.], Agosto 2010.

Maestranza JavaChile Maestranza JavaChile [Online] // Flanges o Bidas. - <http://www.javachile.cl/index.php>.

Mesa Santiago Betancur Sistemas de vapor [Report]. - 2008.

Ministerio de minas y energia Guia didactica para el desarrollo de auditorias energeticas [Journal] // Unidad de planeacion minero energetica. - Marzo 2007. - ISBNB No 978-958-98138-4-3.

Ministerio de Minas y Energia Programa de uso racional y eficiente de la energia [Journal] // Documento preliminar PROURE. - Bogotá : [s.n.], Octubre 2005.

Moscoso Ramiro Guia para el chequeo de operacion de las trampas para vapor [Online]. - 1995. - Abril 21, 2010. - <http://www.nstvenezuela.com>.

Open Energy Turbinas de vapor [Online]. - Marzo 25, 2010. - http://www.opex-energy.com/termosolares/turbina_de_vapor_termosolar.html.

Russel W. Lane P.E. Control de incrustaciones y corrosion en instalaciones hidraulicas de edificios [Book]. - Mexico D.F. : Mc Graw Hill, 1995.

Seditesa Como prevenir los golpes de ariete en las tuberias de vapor // Hoja tecnica No7.

Seditesa Como prevenir los golpes de ariete en las tuberias de vapor [Report].

Shigley Joseph Edward Diseño en Ingeniería Mecánica [Book]. - México : MCGRAW-HILL, 1990. - 5 : p. 883. - 9684227787.

Spirax Sarco Calderas y Accesorios [Book Section] // Guía de referencia técnica. - United Kingdom : [s.n.], 1999.

Spirax Sarco Distribución del vapor [Book Section] // Guía Técnica. - 2008.

Spirax Sarco Purga de vapor y eliminación de aire // Guía de referencia técnica. - 1998.

T.L.V Efficient use of process steam. - Sydney : [s.n.].

Torres Jorge Seminario de Secado ACOTEPAC [Conference] // Introducción al secado de papel. - 2009.

Turner Wayne C. Energy Management Handbook [Book]. - Boca Raton : The Fairmont Press, Inc., 2007. - 6th.

Velez Hildebrando Uso racional y eficiente de la energía [Report] = Lo que va del dicho al hecho. - 2010.

vyc industrial Vapor para la industria papelera [Online]. - vyc industrial. - febrero 2010. - <http://www.vycindustrial.com>.

ANEXOS



Medellin
 CR 49S #46-11 Env
 PBX: 444-82-32
 Fax: 301-54-67
 email: vbsa.medellin@electrasa.com.co
 web-site: www.electrasa.com.co



COTIZACION

OFERTA PRINCIPAL Viernes, 19 de Octubre de 2007 Cotización: 20,394

Señores

Nº: 590925108-6

Sr. Guillermo Gonzalez
 Metrología,
 Dpto de Instrumentación

Tel: 4060400
 Fax: 4061694

De acuerdo a su solicitud nos permitimos presentar a su consideración la siguiente oferta :

DETALLE DE MERCANCIA

Item: 1	Código: MET				
Descripción:					
TOANDA DE BALDE INVERTIDO.DARA VAPOR DEF 811, CONEXION 3/4" , 20-80 PSI, MARCA ARMSTRONG (DARA REEMPLAZAR LA TOANDA No 1)					
	Cantidad: 1,00	Valor Unitario:	\$418.000	Total Item:	\$418.000
Item: 2	Código: WNW				
Descripción:					
TOANDA DE BALDE INVERTIDO.DARA VAPOR DEF 811, CONEXION 1/2" , 20-80 PSI, MARCA ARMSTRONG (DARA REEMPLAZAR LAS TOANDAS Hros 3, 8, 9 y 11)					
	Cantidad: 4,00	Valor Unitario:	\$418.000	Total Item:	\$1.672.000
Item: 3	Código: WNW				
Descripción:					
TOANDA DE BALDE INVERTIDO.DARA VAPOR DEF 811, CONEXION 1/4" , 20-80 PSI, MARCA ARMSTRONG (DARA REEMPLAZAR LA TOANDA No 10)					
	Cantidad: 1,00	Valor Unitario:	\$418.000	Total Item:	\$418.000
Item: 4	Código: DDJ				
Descripción:					
TOANDA DE BALDE INVERTIDO.DARA VAPOR DEF 880, CONEXION 1/2" , 20-80 PSI, MARCA ARMSTRONG (DARA REEMPLAZAR LA TOANDA No 13)					
	Cantidad: 1,00	Valor Unitario:	\$360.000	Total Item:	\$360.000
Item: 5	Código: OOO				
Descripción:					
TOANDA DE BALDE INVERTIDO.DARA VAPOR DEF 214, CONEXION 1" MET, 125-180 PSI, MARCA ARMSTRONG (DARA REEMPLAZAR LA TOANDA No 19)					
	Cantidad: 1,00	Valor Unitario:	\$1.370.000	Total Item:	\$1.370.000
Item: 6	Código: ORP				
Descripción:					
KIT DARA TOANDA DEF 811, 7/64", 125 - 180 PSIG, MARCA ARMSTRONG (DARA REEMPLAZAR LA TOANDA No 16)					
	Cantidad: 1,00	Valor Unitario:	\$187.000	Total Item:	\$187.000

LIDERES EN LA INDUSTRIA NACIONAL DESDE 1.927
 Somos grandes contribuyentes y autorizados de IVA e ICA

Página 1 de 2



Medellin
 CR 49S #46-11 Env
 Pbx: 444-82-32
 Fax: 381-59-07
 email: vta.medellin@electra.com.co
 web-site: www.electra.com.co



COTIZACION

OFERTA PRINCIPAL **Viernes, 19 de Octubre de 2007 Cotización: 20,394**

Señores

NE: 890925105-6

Sr. Guillermo Gonzalez
 Metrología.
 Dpto de Instrumentación

Tel: 4060400
 Fax: 4061694

De acuerdo a su solicitud nos permitimos presentar a su consideración la siguiente oferta :

DETALLE DE MERCANCIA

Item: 7 Código: WWM

Descripción:

TRAMPA DE BALDE INVERTIDO PARA VAPOR, DEF 811, CONEXION 1/2" , 125-150 PSI, MARCA ARMSTRONG (PARA REEMPLAZAR LAS TRAMPAS No 22 Y 23)

Cantidad	Valor Unitario	Total Item
2,00	\$418.000	\$836.000

Oferta valida hasta: 03-Nov-07

Entrega : Inmediata

Forma de Pago : Usual

Subtotal:	\$5.261.000
%IVA: 16	\$841.760
Total:	\$6.102.760

Vendedor Interno: OMAR JIMENEZ

Asesor Industrial: MARCELA POSADA

Ingeniero de Línea: GUIDO FABIAN OCHOA P

Medellín, Febrero 12/2010

N° 03 – 8696

Señores

Atención:

Teléfono:

Barbosa

Referencia: Mantenimiento en Aislamiento térmico de Tubería en diferentes puntos de la Planta

Apreciados Señores:

CALORÍFUGOS DE COLOMBIA – CALORCOL S.A. – líderes en aislamientos Industriales, es la compañía líder en la producción de aislantes térmicos industriales en Colombia. Nuestro producto, la LANA MINERAL DE ROCA, es el aislante mas utilizado en el mundo en el campo industrial por su excelente desempeño térmico, absorción acústica y resistencia al fuego.

La Lana Mineral de roca de CALORCOL S.A. es un producto versátil y extremadamente útil, posee una excelente calidad y eficiencia y ha sido sometido a pruebas de corrosión, compresión, resistencia mecánica etc especialmente para garantizar el trabajo en ambientes industriales.

CALORCOL S.A. es la única compañía a nivel nacional en la fabricación, suministro e instalación de sistemas de aislamiento térmico, tratamientos acústicos, cubiertas metálicas, cerramientos y protección pasiva contra incendios. Siguiendo correctamente las especificaciones y las normas de instalación, actividades que son posibles porque contamos con departamento de suministros, montaje, mantenimiento e investigación y desarrollo para brindar un servicio profesional en todo el ciclo de proyectos: diagnostico, diseño, implementación, montaje y capacitación.

1. DESCRIPCIÓN

De acuerdo a su amable solicitud procedemos a cotizar el suministro e instalación de la obra en referencia, aislamiento térmico de tubería de vapor, con cañuela de lana mineral de roca Stonewoll de CALORCOL S.A., con acabado superficial en lámina de Aluminio de 0.7 mm de espesor, con traslapes longitudinales y transversales y tornillos autorroscantes N° 8 x ½" como elementos de sujeción.

2. VALORES Y CANTIDAD DE OBRA

2.1 EL CHISPERO - CALDERA UNIÓN

Aislamiento térmico con manta cerámica en 4 pulgadas de espesor y lamina de aluminio de 0.7 mm

SUB – TOTAL: \$ 416.737

2.2 PRECALENTADO ELECTRICO CALDERA UNIÓN

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
1" x 1 1/2"	1	Tapa-Reducción	16,692	16,692
	1	Niple	20,865	20,865
1 1/2" x 1 1/2"	4	Metro	44,226	176,904
	10	Codo	26,536	265,356
	2	Tee	17,690	35,381
	3	Tapa-Reducción	17,690	53,071
	13	Niple	22,113	287,469
2" x 2"	3	Metro	49,159	147,478
	2	Codo	29,496	58,991
	1	Tee	19,664	19,664
	4	Tapa-Reducción	19,664	78,655

	2	Niple	24,580	49,159
3" x 2"	2	Metro	55,064	110,129
	2	Tapa-Reducción	22,026	44,052
4" x 2"	2	Metro	57,147	114,295
	2	Tapa-Reducción	22,859	45,718
SUB - TOTAL				\$1'523,879

SOTANO MOLINOS LADO TRANSMICIÓN

2.3 TUBERIA VAPOR PRINCIPAL MOLINOS

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
6" x 2"	1	Tapa-Reducción	27,199	27,199
SUB - TOTAL				\$ 27,199

SEPARADOR DE CONDENSADOR N°3 Y N°4

2.4 AISLAMIENTO TAPA FRONTAL

Valor Unitario: \$ 191.973/unidad

Cantidad: 2 unidades

SUB - TOTAL: \$ 383.946

2.5 TUBERÍA DE DESCARGA CONDENSADOR LADO IZQUIERDO

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
2" x 2"	1	Metro	49,159	49,159
	6	Codo	29,496	176,973
	8	Tapa-Reducción	19,664	157,310
	7	Niple	24,580	172,057
6" x 2"	1	Flanche	73,729	73,729
SUB - TOTAL				\$ 629,229

2.6 TUBERÍA DE DESCARGA CONDENSADOR LADO DERECHO

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
1 1/2" x 1 1/2"	2	Codo	26,536	53,071
	2	Tee	17,690	35,381
	6	Tapa-Reducción	17,690	106,142
	5	Niple	22,113	110,565
SUB - TOTAL				\$ 305,159

2.7 DESCARGA BOMBA P95

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
1/2" x 1 1/2"	3	Metro	39,819	119,456
	1	Codo	23,891	23,891
	2	Tapa-Reducción	15,927	31,855
1 1/2" x 1 1/2"	1	Codo	26,536	26,536
	1	Tapa-Reducción	17,690	17,690
	1	Niple	22,113	22,113
SUB - TOTAL				\$ 241,541

2.8 TUBERÍA DESCARGA DERECHA SEPARADOR N°2 CONDENSADO

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
11/2" x 11/2"	1	Metro	44,226	44,226
	5	Codo	26,536	132,678
	2	Tee	17,690	35,381
	8	Tapa-Reducción	17,690	141,523
	10	Niple	22,113	221,130
SUB - TOTAL				\$ 574,938

2.9 TUBERÍA DE RETORNO DE CONDENSADO A CALDERA UNIÓN

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
11/2" x 11/2"	1	Codo	26,536	26,536
	3	Tapa-Reducción	17,690	53,071
	2	Niple	22,113	44,226
SUB - TOTAL				\$ 123,833

2.10 CODO DE ENTRADA DE VAPOR A SEPARADOR N°2

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
6" x 2"	1	Codo	40,798	40,798
SUB - TOTAL				\$ 40,798

2.11 TUBERÍA DE VAPOR DE VENTILADOR DE AIRE CALIENTE

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
11/2" x 11/2"	1	Metro	44,226	44,226
	1	Codo	26,536	26,536
	3	Niple	22,113	66,339
2" x 2"	1	Metro	49,159	49,159

	1	Codo	29,496	29,496
	1	Tee	19,664	19,664
	5	Tapa-Reducción	19,664	98,319
	3	Niple	24,580	73,739
	0	Válvula	49,159	0
SUB - TOTAL				\$ 407,477

2.12 SEPARADOR N°1 DESCARGA DE VAPOR LADO IZQUIERDO

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
2" x 2"	1	Metro	49,159	49,159
	1	Codo	29,496	29,496
	1	Tapa-Reducción	19,664	19,664
SUB - TOTAL				\$ 98,319

2.13 TUBERÍA DE DESCARGA DE BOMBAS P72 Y P73

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
1" x 11/2"	3	Metro	41,731	125,193
	2	Codo	25,039	50,077
	2	Tapa-Reducción	16,692	33,385
11/2" x 11/2"	4	Metro	44,226	176,904
	3	Codo	26,536	79,607
	9	Tapa-Reducción	17,690	159,213
2" x 2"	12	Metro	49,159	589,911
	5	Codo	29,496	147,478
	8	Tapa-Reducción	19,664	157,310
3" x 2"	2	Metro	55,064	110,129
	1	Tapa-Reducción	22,026	22,026
SUB - TOTAL				\$ 1'651,233

2.14 TUBERÍA DE VAPOR PRINCIPAL JUNTO A P70

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
3" x 2"	1	Tee	22,026	22,026
	1	Tapa-Reducción	22,026	22,026
	1	Niple	27,532	27,532
6" x 2"	3	Metro	67,997	203,992
	1	Codo	40,798	40,798
	1	Tapa-Reducción	27,199	27,199
SUB - TOTAL				\$ 343,574

PISO DE MAQUINAS LADO TRANSMICIÓN

2.15 ENTRADA DE VAPORR DE CASCADA A PRIMER GRUPO DE SECADO

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
2" x 2"	1	Tee	19,664	19,664
	1	Tapa-Reducción	19,664	19,664
	1	Niple	24,580	24,580
4" x 2"	1	Codo	34,288	34,288
	2	Tapa-Reducción	22,859	45,718
SUB - TOTAL				\$ 143,914

2.16 REPARACIÓN DE CODO DE ENTRADA DE VAPOR A VACUM CONDENSER

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
6" x 2"	1	Codo	40,798	40,798
SUB - TOTAL				\$ 40,798

2.17 TUBERÍA DE DESCARGA DE TERMOCOMPRESOR N°2

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
11/2" x 11/2"	1	Metro	44,226	44,226
	2	Codo	26,536	53,071
	3	Tapa-Reducción	17,690	53,071
SUB - TOTAL				\$ 150,368

LINEA DE VAPOR ALTA PRESIÓN

2.18 TUBERÍA DE VAPOR TRAMO RECTO U DE DILATACIÓN N°1

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
4" x 2"	2	Codo	34,288	68,577
	1	Niple	28,574	28,574
SUB - TOTAL				\$ 97,151

2.19 TUBERÍA DE VAPOR U DE DILATACIÓN N°2

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
4" x 2"	2	Codo	34,288	68,577
	1	Niple	28,574	28,574
SUB - TOTAL				\$ 97,151

2.20 TRAMO RECTO ANTES DE U DE DILATACIÓN N°2

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
4" x 2"	1	Metro	57,147	57,147
	1	Codo	34,288	34,288
SUB - TOTAL				\$ 91,436

2.21 ANTES DE VALVULA KINGER DE CUARTO - GRUPO DE SECADO TÉRMICO

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
4" x 2"	1	Codo	34,288	34,288
	3	Tapa-Reducción	22,859	68,577
	2	Niple	28,574	57,147
SUB - TOTAL				\$ 160,013

2.22 DESPUES DE VALVULA DE CONTROL NEUMÁTICA

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
6" x 2"	1	Tapa-Reducción	27,199	27,199
	1	Niple	33,999	33,999
SUB - TOTAL				\$ 61,198

2.23 TUBERÍA POCKET VENTILACIÓN SECCIÓN 2

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
11/4" x 11/2"	8	Tapa-Reducción	17,320	138,563
	8	Niple	21,650	173,204
SUB - TOTAL				\$ 311,767

3. VALOR TOTAL: \$ 7'921.658

4. CONDICIONES COMERCIALES

- Forma de pago: 30 días.
- IVA no incluido: Se facturará según las normas vigentes.
- Validez de la oferta: 30 días.
- Garantías: CALORCOL S.A. garantiza el correcto desempeño de sus materiales para las condiciones definidas en sus manuales y fichas técnicas y en las condiciones de operación indicadas.



Líderes en Aislamientos Industriales

Sede principal CALORCOL S.A.

Calle 46 No. 71 - 121 Copacabana - Antioquia - Colombia

PBX: (574) 274 41 49 - FAX: (574) 274 56 92 - A.A. 9861 Medellín

 E-mail: info@calorcol.com

Bogotá D.C. Cel. 316 5272521

Cali Cel. 316 5278486

Barranquilla Cel. 316 5278492

Pereira Cel. 316 5278490

Exportaciones Cel. 316 5278488

- Soporte Técnico: CALORCOL S.A. prestará sin costo alguno todo el acompañamiento técnico con un ingeniero calificado y con experiencia en el campo, durante el desarrollo del montaje de los aislamientos térmicos requeridos, con visitas periódicas.
- Recomendaciones: Recomendamos la utilización de materiales aislantes en Lana Mineral de Roca debido a sus características particulares de bajo factor de conductividad térmica (K), alta densidad que garantiza su bajo factor K, eficiencia térmica, fácil instalación, durabilidad en el tiempo, clasificación contra incendios (punto de fusión superior a 1.600 °C), no corrosivo (**contenido de cloruros máximo de 1.45 p.p.m**), libre de asbestos, capacidad de soportar picos de temperatura (No Punking) y totalmente amigable con el medio ambiente, permitiendo disponer finalmente sus residuos sin ningún tipo de restricción.

Estos precios incluyen la instalación de materiales, mano de obra calificada, servicio técnico, equipos de seguridad personal, herramientas y transportes. Igualmente incluye afiliaciones a Salud, Pensión y ARP del personal empleado para la ejecución de la obra.

La obra dispondrá del sitio para el cuidado, protección y conservación de los materiales, equipos y herramientas desde el momento de inicio de actividades hasta la terminación de obra y retiro de los mismos. Igualmente proveerá una fuente de energía eléctrica a 220 Voltios y otra a 110 Voltios en el sitio de instalación.

Si desea ampliar la información aquí contenida, por favor no dude en comunicarse con nosotros.

Atentamente

GABRIEL ECHANDIA POSADA

Ingeniero de Proyectos

Email: gechandia@calorcol.com

Celular: 316 – 527 84 87

Medellín, Mayo 3/2010

N° 03 – 9117

Señores

Atención:

Teléfono:

Barbosa

*Referencia: Aislamiento térmico de Tubería en diferentes puntos de la Planta y Chimenea
Caldera Unión*

Apreciados Señores:

CALORÍFUGOS DE COLOMBIA – CALORCOL S.A. – líderes en aislamientos Industriales, es la compañía líder en la producción de aislantes térmicos industriales en Colombia. Nuestro producto, la LANA MINERAL DE ROCA, es el aislante mas utilizado en el mundo en el campo industrial por su excelente desempeño térmico, absorción acústica y resistencia al fuego.

La Lana Mineral de roca de CALORCOL S.A. es un producto versátil y extremadamente útil, posee una excelente calidad y eficiencia y ha sido sometido a pruebas de corrosión, compresión, resistencia mecánica etc especialmente para garantizar el trabajo en ambientes industriales.

CALORCOL S.A. es la única compañía a nivel nacional en la fabricación, suministro e instalación de sistemas de aislamiento térmico, tratamientos acústicos, cubiertas metálicas, cerramientos y protección pasiva contra incendios. Siguiendo correctamente las especificaciones y las normas de instalación, actividades que son posibles porque contamos con departamento de suministros, montaje, mantenimiento e investigación y desarrollo para brindar un servicio profesional en todo el ciclo de proyectos: diagnostico, diseño, implementación, montaje y capacitación.

1. DESCRIPCIÓN

De acuerdo a su amable solicitud procedemos a cotizar el suministro e instalación de la obra en referencia, aislamiento térmico de tubería de vapor, con cañuela de lana mineral de roca Stonewool de CALORCOL S.A., con acabado superficial en lámina de Aluminio de 0.4 mm de espesor, con traslapes longitudinales y transversales y tornillos autorroscantes N° 8 x ½" como elementos de sujeción.

3. VALORES Y CANTIDAD DE OBRA

3.1 TUBERÍA DE DRENAJE DE CONDENSADO SECADORES 10, 20, 22, 26, 28 Y 30

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
1 1/2" x 1 1/2"	9	Metro	44,226	398,034
	12	Tapa-Reducción	17,690	212,285
SUB - TOTAL				\$ 610,318

3.2 ZONA INFERIOR PREPARACIÓN DE ALMIDÓN

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
3/4" x 1 1/2"	2	Metro	40,400	80,800
	2	Codo	24,240	48,480
	1	Tee	16,160	16,160
	1	Tapa-Reducción	16,160	16,160
1 1/2" x 1 1/2"	3	Metro	44,226	132,678
	1	Codo	26,536	26,536
	7	Tapa-Reducción	17,690	123,833
	4	Niple	22,113	88,452
3" x 2"	2	Metro	55,064	110,129
	1	Codo	33,039	33,039
	1	Tee	22,026	22,026
	1	Tapa-Reducción	22,026	22,026

3.3 DRENAJE DE CONDENSADO LINEA PRINCIPAL DE VAPOR PUNTO AP286

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
2" x 2"	4	Metro	49,159	196,637
	3	Codo	29,496	88,487
	2	Tapa-Reducción	19,664	39,327
SUB - TOTAL				\$ 324,451

3.4 TUBERÍA DE DESCARGA DE LA AP286

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
2" x 2"	3	Metro	49,159	147,478
	3	Codo	29,496	88,487
	2	Tapa-Reducción	19,664	39,327
SUB - TOTAL				\$ 275,292

3.5 TUBERÍA VALVULA IGUALADORA CALDERA DISTRAL

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
1 1/2" x 1 1/2"	2	Codo	26,536	53,071
	1	Tee	17,690	17,690
	3	Tapa-Reducción	17,690	53,071
	5	Niple	22,113	110,565
SUB - TOTAL				\$ 234,398

3.6 TUBERÍA DE ENTRADA DE CALDERA DISTRAL

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
2" x 2"	3	Metro	49,159	147,478
	4	Codo	29,496	117,982
	8	Tapa-Reducción	19,664	157,310
	4	Niple	24,580	98,319

21/2" x 2"	2	Metro	51,224	102,448
	2	Tapa-Reducción	20,490	40,979
SUB - TOTAL				\$ 664,515

3.7 LINEA PRINCIPAL JUNTO A DIGESTOR U DE DILATACIÓN

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
6" x 2"	2	Metro	67,997	135,995
	2	Codo	40,798	81,597
SUB - TOTAL				\$ 217,592

3.8 LINEA PRINCIPAL DE VAPOR BODEGA MATERIA PRIMA

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
1/2" x 11/2"	1	Codo	23,891	23,891
	1	Tapa-Reducción	15,927	15,927
6" x 2"	1	Tapa-Reducción	27,199	27,199
SUB - TOTAL				\$ 67,018

3.9 LINEA PRINCIPAL DE VAPOR U EXTERNA

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
8" x 2"	7	Metro	102,147	715,027
	2	Codo	61,288	122,576
SUB - TOTAL				\$ 837,603

3.10 TUBERÍA ENTRADA DE VAPOR SECADOR N°8

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
21/2" x 2"	1	Metro	51,224	51,224
	2	Tapa-Reducción	20,490	40,979

3.11 TUBERÍA SECADOR N° 18

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
21/2" x 2"	1	Metro	51,224	51,224
	2	Tapa-Reducción	20,490	40,979
SUB - TOTAL				\$ 92,203

3.12 TUBERÍA SECADOR N°20

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
21/2" x 2"	1	Metro	51,224	51,224
	2	Codo	30,734	61,469
	2	Tapa-Reducción	20,490	40,979
SUB - TOTAL				\$ 153,672

3.13 TUBERÍA SECADORES N°26, 28 Y 32

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
21/2" x 2"	3	Metro	51,224	153,672
	6	Tapa-Reducción	20,490	122,937
VALOR TOTAL				\$ 276,609

3.14 TUBERÍA SECADOR N°30

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
21/2" x 2"	1	Metro	51,224	51,224
	2	Codo	30,734	61,469
	2	Tapa-Reducción	20,490	40,979
SUB - TOTAL				\$ 153,672

3.15 TUBERÍA SECADORES N°35, 36, 37, 38, 39 Y 40

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
21/2" x 2"	1	Metro	51,224	51,224
	10	Codo	30,734	307,343
	0	Tee	20,490	0
	14	Tapa-Reducción	20,490	286,854
	9	Niple	25,612	230,508
SUB - TOTAL				\$ 875,929

2.16 TUBERÍA EN ZONA DE CALDERA UNIÓN

DIAMETRO x ESPESOR	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUB - TOTAL
1/2" x 11/2"	2	Metro	39,819	79,637
	1	Codo	23,891	23,891
	2	Tapa-Reducción	15,927	31,855
11/2" x 11/2"	2	Metro	44,226	88,452
	1	Codo	26,536	26,536
	2	Tapa-Reducción	17,690	35,381
21/2" x 2"	4	Metro	51,224	204,896
	2	Tapa-Reducción	20,490	40,979
SUB - TOTAL				\$ 531,626

2.17 CHIMENEA EN ZONA DE CALDERA UNIÓN

Area de aislamiento: 14 metros²
 Valor Unitario: \$ 152.818/metro²
SUB – TOTAL: \$ 2'139.452

3. VALOR TOTAL: **\$ 8'266.871**

4. CONDICIONES COMERCIALES

- Forma de pago: 30 días.
- IVA no incluido: Se facturará según las normas vigentes.
- Validez de la oferta: 15 días.
- Garantías: CALORCOL S.A. garantiza el correcto desempeño de sus materiales para las condiciones definidas en sus manuales y fichas técnicas y en las condiciones de operación indicadas.
- Soporte Técnico: CALORCOL S.A. prestará sin costo alguno todo el acompañamiento técnico con un ingeniero calificado y con experiencia en el campo, durante el desarrollo del montaje de los aislamientos térmicos requeridos, con visitas periódicas.
- Recomendaciones: Recomendamos la utilización de materiales aislantes en Lana Mineral de Roca debido a sus características particulares de bajo factor de conductividad térmica (K), alta densidad que garantiza su bajo factor K, eficiencia térmica, fácil instalación, durabilidad en el tiempo, clasificación contra incendios (punto de fusión superior a 1.600 °C), no corrosivo (**contenido de cloruros máximo de 1.45 p.p.m**), libre de asbestos, capacidad de soportar picos de temperatura (No Pinking) y totalmente amigable con el medio ambiente, permitiendo disponer finalmente sus residuos sin ningún tipo de restricción.

INCLUYE

-Estos precios incluyen la instalación de materiales, mano de obra calificada, servicio técnico, equipos de seguridad personal, herramientas y transportes.

-Se dispondrá de un oficial de aislamiento, durante el desarrollo de la obra.

-Igualmente incluye afiliaciones a Salud, Pensión y ARP del personal empleado para la ejecución de la obra y los implementos de seguridad normales necesarios.

-Horario de trabajo diurno.

NO INCLUYE

No incluye ingeniero o supervisor permanente, se tendrán visitas periódicas del ingeniero encargado.

Lugar de almacenamiento de materiales y equipos, la obra dispondrá del sitio para el cuidado, protección y conservación de los materiales, equipos y herramientas desde el momento de inicio de actividades hasta la terminación de obra y retiro de los mismos. Igualmente proveerá una fuente de energía eléctrica a 110 y 220 Voltios en el sitio de instalación.

NOTA: Estos costos fueron calculados con base en las anteriores cantidades y para desarrollar el proyecto en una sola etapa, en caso de demora en el avance de los trabajos por causas ajenas al personal de Calorcol S.A., se hará una reevaluación si se incurre en sobrecostos.

Las cantidades a facturar serán las realmente instaladas multiplicadas por el valor unitario correspondiente. Las áreas de los equipos se medirán exterior al aislamiento, es decir, en la superficie de la cubierta metálica”.

Visite nuestra página Web para que conozca todos nuestros productos y servicios
www.calorcol.com

Si desea ampliar la información aquí contenida, por favor no dude en comunicarse con nosotros.

Atentamente

GABRIEL ECHANDIA POSADA

Ingeniero de Proyectos

Email: gechandia@calorcol.com

Celular: 316 – 527 84 87



ENTREGA:	
VALIDEZ:	5 DIAS
F. PAGO:	CREDITO
SETO ENTREGA:	EN SUS INSTALACIONES

**SOLO SE ACEPTA DEVOLUCIÓN DE MERCANCIA LOS SIGUIENTES 15
DÍAS DESPUÉS DEL DESPACHO,**
Materiales sujetos a rotación de inventarios y/o Venta previa

ANDRÉS FELIPE MARÍN
ASESOR LÍNEAS TÉCNICAS